



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI SKEMA PROTEKSI *ADAPTIVE OVER CURRENT* PADA
JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR
MENGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM***

Mukhamad Subkhi
NRP 2214 105 036

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF ADAPTIVE OVERCURRENT PROTECTION
SCHEME ON DISTRIBUTION NETWORK INCLUDING
DISTRIBUTED GENERATOR USING GENETIC ALGORITHM**

Mukhamad Subkhi
NRP 2214 105 036

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ***“Studi Skema Proteksi Adaptive Over Current Pada Jaringan Distribusi Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Genetic Algoritma”*** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap dalam daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2016

Mukhamad Subkhi
(2214 105 036)

**STUDI SKEMA PROTEKSI *ADAPTIVE OVER*
CURRENT PADA JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN
PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN
*GENETIC ALGORITHM***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Ir. Ir. Margo Pujiastara, M.T.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Ir. Sjamsul Anam, M.T.
NIP. 196307251990031002



STUDI SKEMA PROTEKSI ADAPTIVE OVER CURRENT PADA JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Nama Mahasiswa : Mukhamad Subkhi

NRP : 2214105036

Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir.Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRAK

Dengan berkembangnya *renewable energy*, seperti energi matahari , energi angin dan air untuk kedepannya akan menjadi sumber energi yang bersih yang mampu menambah daya listrik. Saat ini pembangkit tenaga listrik pada umumnya menggunakan sumber energi batu bara, gas dan minyak bumi sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik. Pembangkit-pembangkit tersebut ditinjau dari segi lokasi mempunyai jarak yang sangat jauh dengan pusat beban sehingga biaya untuk membangun sistem distribusi memerlukan biaya yang cukup mahal.

Oleh karena di perlukan suatu pembangkit yang tersebar yang lokasinya dekat dengan pusat beban yaitu dengan menambah pembangkit dari *renewable energy*. Penambahan pembangkit pada jaringan distribusi akan mempengaruhi koordinasi proteksi pada rele arus lebih sehingga diperlukan adanya suatu sistem yang adaptif untuk menangani permasalahan tersebut. Dengan adanya sistem yang adaptif tersebut diharapkan mampu mendeteksi keadaan pembangkit tersebar (*distributed generator*) apakah tersambung dengan jaringan ataupun tidak. Dengan terdeteksinya *distributed generator* ke sistem jaringan distribusi pengaturan koordinasi rele akan otomatis berubah sesuai dengan *setting* rele yang diharapkan, sehingga proteksi sesuai dengan kondisi jaringan.

Kata kunci : Pembangkit, *distributed generator*, rele arus lebih, koordinasi proteksi, *renewable energy*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

STUDI OF ADAPTIVE OVERCURRENT PROTECTION SCHEME ON DISTRIBUTION NETWORK INCLUDING DISTRIBUTED GENERATOR USING GENETIC ALGOTIHM

Nama Mahasiswa : Mukhamad Subkhi

NRP : 2214105036

Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir.Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRACT

Increasing of renewable energy such as solar energy, wind turbine and hydropower will be clean energy and able to contribute electrical power. Generally power plant used energy from coal, crude oli and gas as a main energy to generate electrical power. The power plant have a problem with distribution system, because generating and load center is faraway. To build a distribution system needed a lot of money and not efective way.

Consequently needed a distributed generator that location is close with the center load. Because of distributed generator at distribution system, the load flow in distribution system change automaticly and affected protection coordination. Threfore, necessary adaptive system to overcome the problem.

Adaptive system expected able to discovery of distributed generator connect to network or not. Discovering the distributed generator to network setting coordination protection will automaticly change and setting relay hoped suitable.

Key Word : Power Plant, Generating, renewable energy, coordination protection, relay,

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**Studi Skema Proteksi Adaptive Over Current pada Jaringan
Distribusi dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Genetic
Algorithm**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT.
2. Kedua orang tua saya
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir serta Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran dan bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Bapak Ardyono Priyadi ST.,M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro – ITS.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS, yang telah memberi bimbingan, inspirasi dan membagi ilmu pengetahuan selama perkuliahan.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis telah berusaha untuk dapat menghasilkan karya terbaik, namun penulis merasa bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan banyak pengembangan yang mungkin masih bisa dilakukan, oleh karena itu penulis masih membuka diri untuk menertima kritik dan saran dari para pembaca sekalian guna pengembangan yang lebih baik.

Surabaya, Desember 2016

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	5
2.2 Gangguan Sistem Tenaga Listrik	6
2.2.1 Gangguan Arus Lebih	6
2.2.2 Gangguan Hubung Singkat	6
2.3.3 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat	7
2.3 Rele Arus Lebih	7
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers	7
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan	8
2.3.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers dan Instan	9
2.4 Koordinasi Rele Arus dan Waktu	10
2.5 <i>Distributed Generation</i>	10
2.6 Sistem Distribusi Radial Terhubung dengan <i>DG</i>	11
2.7 Algoritma Genetika	12
2.7.1 Pembangkitan Populasi Awal	12
2.7.2 Seleksi Alam	13
2.7.3 Pasangan	14

2.7.4 Perkawinan.....	14
2.7.5 Mutasi	15
2.7.6 Generasi	15
2.7.7 Contoh Program Algoritma Genetika.....	16
2.9 Sistem Adaptif	21

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Data Sistem Distribusi Radial	23
3.2 Perubahan Sistem Jaringan	26
3.2.1 Jaringan Hanaya Terhubung <i>Grid</i>	26
3.2.2 Jaringan Terhubung <i>Grid</i> dan DG	27
3.3 Perancangan Koordinasi dengan Algoritma Genetika	28

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Hubung Singkat	31
4.2 Analisa <i>Load Flow</i>	32
4.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual	33
4.3.1 Koordinasi Proteksi Ketika Hanya Terhubung Grid	33
4.3.2 Koordinasi Proteksi Ketika Terhubung Grid dan <i>Distributed Generator</i>	37
4.3.3 Koordinasi Proteksi Ketika Hanya Terhubung DG	42
4.4 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika	43
4.4.1 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke Grid	44
4.4.2 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke Distrobuted Generator	44
4.4.3 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke Grid Dan Distributed Generator	44
4.5 Hasil Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika dan Manual	45
4.5.1 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika dan Manual Pada Kondisi Terhubung ke Grid	45
4.5.2 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika dan Manual Pada Kondisi Terhubung ke ditributed generator	46
4.4.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika dan Manual Pada Kondisi Terhubung ke ditributed generator dan Grid	46

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59

DAFTAR PUSTAKA	61
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	63
----------------------	-----------

RIWAYAT PENULIS.....	83
-----------------------------	-----------

-----Halaman Ini Sengaja dikosongkan-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pembangkit Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2	Jaringan Distribusi Radial.....	6
Gambar 2.3	Kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers.....	8
Gambar 2.4	Kurva karakteristik invers dengan instan.....	8
Gambar 2.5	Flowchart <i>continuous genetic algorithm</i>	16
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Sistem.....	25
Gambar 3.2	Jaringan Terhubung Grid.....	26
Gambar 3.3	Jaringan Tidak Terhubung Grid dan DG.....	27
Gambar 3.4	Flowchart Algoritma Genetika.....	28
Gambar 4.1	Time Current Curve Case 1 Perhitungan Manual.....	52
Gambar 4.2	Time Current Curve Case 1 Perhitungan GA.....	53
Gambar 4.3	Time Current Curve Case 2 Perhitungan Manual.....	54
Gambar 4.4	Time Current Curve Case 2 Perhitungan GA.....	55
Gambar 4.5	Time Current Curve Case 3 Perhitungan Manual.....	56
Gambar 4.6	Time Current Curve Case 3 Perhitungan GA.....	57

-----*Halaman ini Sengaja Dikosongkan*-----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Contoh populasi awal dengan jumlah populasi 8 kromosom dan harga <i>cost</i>	13
Tabel 2.2	Contoh kromosom yang masih bertahan setelah dilakukan seleksi alam 50%	14
Tabel 3.1	Data <i>grid</i>	23
Tabel 3.2	Data <i>distributed generator</i>	23
Tabel 3.3	Data beban.....	23
Tabel 3.4	Data kabel.....	24
Tabel 4.1	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi hanya terhubung dengan <i>grid</i>	31
Tabel 4.2	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung dengan gri dan <i>distributed generator</i>	31
Tabel 4.3	Arus hubung singkat tiap bus ketika kondisi terhubung ke <i>distributed generator</i>	32
Tabel 4.4	Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke <i>grid</i>	32
Tabel 4.5	Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke DG.....	32
Tabel 4.6	Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke <i>grid</i> dan DG	33
Tabel 4.7	Koordinasi pada kondisi terhubung ke <i>grid</i>	44
Tabel 4.8	Koordinasi pada kondisi terhubung ke <i>distributed generator</i>	44
Tabel 4.9	Koordinasi pada kondisi terhubung ke <i>grid</i> dan <i>distributed generator</i>	44
Tabel 4.10	Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke <i>grid</i>	45
Tabel 4.11	Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke <i>distributed generator</i>	46
Tabel 4.12	Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke <i>distributed generator</i> dan <i>grid</i>	46
Tabel 4.13	Time Tripping dan Time Grading Case 1	58
Tabel 4.14	Time Tripping dan Time Grading Case 2.....	58
Tabel 4.15	Time Tripping dan Time Grading Case 3.....	58

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pembangkitan tenaga listrik di stasiun pembangkit yang di salurkan ke konsumen membutuhkan saluran transmisi dan saluran distribusi. Di tinjau dari segi ekonomi dan lingkungan mengakibatkan fasilitas pembangkit yang berkapasitas besar terletak di daerah pinggiran yang jauh dari pusat beban. Pembangkit yang sumber energi nya menggunakan batubara menimbulkan permasalahan polusi terhadap lingkungan sedangkan yang menggunakan sumber energi fosil mempunyai biaya yang sangat mahal dan di prediksi dalam kurun waktu beberapa tahun kedepan sumber energi fosil akan habis [1].

Dengan meningkatnya permintaan energi setiap tahunnya energi listrik tidak dapat terpenuhi karena keterbatasan saluran transmisi. Oleh karena itu diperlukan pembangkit yang efisien seperti pembangkit tersebar (*distributed generator*). Tingginya biaya transmisi dan distribusi menjadi kendala utama untuk penyaluran tenaga listrik sehingga pengembangan *distributed generator* menjadi isu yang menarik dikalangan peneliti.. *distributed generator* dengan kapasitas daya yang kecil dapat digunakan untuk melayani beban puncak pada jam jam tertentu setiap harinya [2].

Dengan adanya *distributed generator* kondisi sistem tenaga listrik menjadi lebih rumit untuk dipahami oleh karena itu sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *distributed generator* terhadap perubahan di dalam sistem tenaga listrik [3]. Dari Permasalahan tersebut diperlukan sistem proteksi *adaptive* yang berguna untuk mengkoordinasi *setting* rele secara otomatis mengikuti kondisi perubahan status pembangkit tersebar yang masuk ke dalam sistem.

1.2 Permasalahan

Distributed generator adalah sebuah pendekatan yang menggunakan teknologi skala kecil untuk menghasilkan listrik yang dekat dengan konsumen. Dengan adanya penambahan pembangkit (*distributed generator*) mengakibatkan adanya aliran daya terbalik dan profil tegangan yang kompleks pada sistem distribusi sehingga koordinasi rele bisa berubah tergantung dari mode *Distributed generator on* atau *off*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam tugas akhir ini simulasi dilakukan dengan *software programmable*
2. Dalam pengambilan data arus gangguan dan arus nominal digunakan *software* simulasi kelistrikan
3. *Distributed generator* yang digunakan dalam simulasi hanya satu
4. Hubung singkat untuk analisa hanya terletak pada bus tidak pada peralatan seperti kabel dan *distributed generator*.
5. Optimasi yang digunakan hanya pada nilai TMS yang paling minimum.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh pemasangan *distributed generator* di sistem distribusi
2. Mengetahui koordinasi proteksi pada rele arus lebih setelah penambahan *distributed generator*

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari studi literatur, pengadaan jurnal ilmiah, pengadaan *proceeding*, pengadaan *text book*.

1. Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori – teori penunjang seperti studi analisis sistem tenaga, arus gangguan hubung singkat, pengaman sistem tenaga listrik serta *distributed generator*.

2. Pengadaan Jurnal

Paper atau jurnal yang diambil adalah *paper* yang diterbitkan oleh suatu badan organisasi dalam bentuk majalah dan yang berhubungan dengan analisis sistem tenaga, arus gangguan hubung singkat, pengaman sistem tenaga listrik serta *adaptive coordination including distributed generator*.

3. Pengadaan *Proceeding*

Paper – paper yang dibutuhkan adalah *paper* yang diterbitkan di suatu seminar dalam bentuk buku yang berhubungan dengan analisis sistem tenaga, arus gangguan hubung singkat, pengaman sistem tenaga listrik serta *adaptive coordination including distributed generator*.

4. Pengadaan *Text Book*

Text book yang dibutuhkan adalah materi – materi yang berhubungan dengan analisis sistem tenaga, arus gangguan hubung singkat, pengaman sistem tenaga listrik serta *adaptive coordination including distributed generator*.

5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di jurnal dengan perencanaan *single line diagram* atau pemodelan sistem kelistrikan, dan pengumpulan data peralatan yang dibutuhkan dalam analisis tugas akhir. Data peralatan yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut : *rating* tegangan pada sistem, sistem pembangkitan atau *generator*, data *transformator*, sistem pentanahan peralatan, dan spesifikasi motor. Setelah semua data terkumpul maka akan dibuat *single line diagram plant* pada *software* sistem kelistrikan.

6. Analisis simulasi sistem

Setelah perencanaan pemodelan sistem kelistrikan selesai, maka dilakukan analisis dengan *software*. Analisis yang dilakukan yaitu *Load Flow* , analisis gangguan hubung singkat untuk menentukan arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum.

7. Analisis koordinasi proteksi

Pengaturan koordinasi proteksi melihat dari mode *distributed generator* apakah terhubung ke jaringan atau tidak. Setelah diperoleh nilai arus hubungkat yang diinginkan, maka selanjutnya yaitu menganalisis koordinasi proteksi dari rele – rele pada sistem. Rele yang digunakan sebagai pengaman yaitu salah satunya rele arus lebih. Apakah pengaturan rele arus lebih terhadap adanya nilai arus gangguan yang terjadi sudah memenuhi standar aman dan benar apa tidak. Jika pengaturan rele masih salah dan belum aman, maka dilakukan pengaturan ulang untuk rele –rele yang ada pada jaring atau sistem.

8. Kesimpulan

Dari analisis pada pemodelan sistem kelistrikan, maka akan diperoleh kesimpulan bahwa dengan terhubungnya *distributed denerator* ke jaringan mempunyai pengaruh terhadap arus hubung singkat, serta koordinasi proteksi rele arus lebih yang tepat pada sistem.

1.6 Sistematika penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM SIMULASI

Bab ini akan menjelaskan perancangan sistem sebelum dilakukan simulasi berupa *plant* dan *flowchart sistem*.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini akan disajikan analisis terhadap kinerja koordinasi rele arus lebih digital menggunakan algoritma genetika dan sistem *adaptif* pada koordinasi rele arus lebih pada jaringan yang terdapat pembangkit tersebar

BAB V : PENUTUP

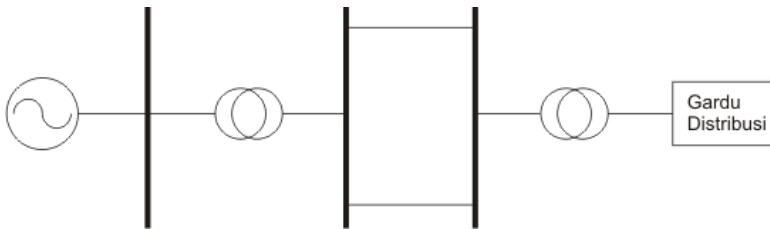
Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkitan merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik. Komponen – komponen yang digunakan dalam pembangkitan yaitu *generator* dan turbin. Dua komponen tersebut berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sesaat setelah terjadi pembangkitan energi listrik kemudian dinaikkan tegangannya menggunakan trafo. Menaikkan tegangan merupakan salah satu cara untuk mengurangi rugi daya pada saluran transmisi. Tahap selanjutnya saluran distribusi, di Indonesia standart tegangan yang digunakan adalah 20 kV yang nantinya akan diturunkan ke tegangan rendah 380 volt untuk keperluan sehari hari. Lebih jelasnya mengenai pembangkitan tenaga listrik bisa dilihat pada gambar 2.1 berikut :

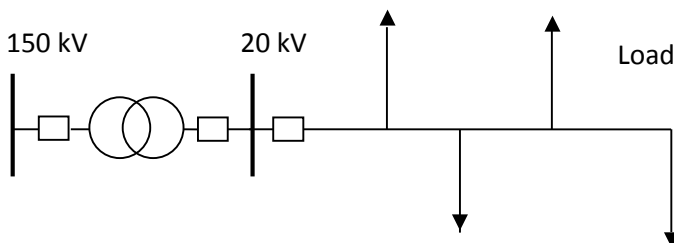


Gambar 2.1 Pembangkit Tenaga Listrik

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan yang paling sederhana dan banyak digunakan di Indonesia. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan tersebut. Catu daya berasal dari satu titik sumber dan terdapat percabangan untuk membagi beban. Dengan adanya percabangan – percabangan tersebut maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang yang digunakan pada saluran berbeda-

beda. Lebih jelas mengenai jaringan distribusi radial bisa dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

2.2 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik gangguan dapat berupa arus lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*). Gangguan ini apabila tidak diatasi dapat merusak peralatan.

2.2.1 Gangguan Arus Lebih

Gangguan ini disebabkan karena adanya arus yang mengalir melebihi arus nominal dalam suatu penghantar. Faktor utamanya yaitu kelebihan beban. Gangguan ini apabila tidak segera diperbaiki dapat merusak saluran.

2.2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan ini disebabkan dua faktor yaitu faktor *internal* dan faktor *eksternal*. Faktor *internal* berasal dari rusaknya peralatan sistem tenaga listrik. Faktor *eksternal* berupa cuaca buruk seperti badai, hujan, bencana, runtuhnya pohon dan lain sebagainya. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya pemadam apabila tidak di perbaiki gangguan itu menyebabkan terputusnya *circuit breaker*, penurunan tegangan yang cukup besar sehingga kualitas tenaga listrik menjadi rendah, pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan lepasnya *generator* dan merusak peralatan pada daerah yang terjadi gangguan.

2.2.3 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat

Hubung singkat pada sistem distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- Hubung Singkat Tiga Fasa

$$Isc3\phi = \frac{vln}{X1} \quad (2.1)$$

Pada hubung singkat ini, ketiga fasa saling bersentuhan. Vs merupakan tegangan nominal *line to netral* dan X1 adalah reaktansi urutan positif.

- Hubung Singkat Antar Fasa

$$Isc2\phi = \frac{vll}{X1+X2} \quad (2.2)$$

$$Isc2\phi = \frac{\sqrt{3} vln}{X1+X2} \text{ dan jika } X1=X2$$

Maka persamaan menjadi :

$$Isc2\phi = \frac{1}{2}\sqrt{3} \frac{vln}{X1} = 0,866 Isc3\phi \quad (2.3)$$

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah.

2.3 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan jaringan dari gangguan arus lebih. Cara kerja rele arus lebih adalah bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika kondisi sebagai berikut :

Arus gangguan > *Ipickup* = Rele bekerja

Arus gangguan < *Ipickup* = Tidak bekerja

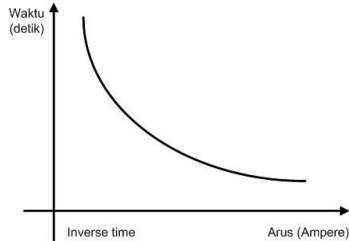
2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Salah satu jenis rele arus lebih adalah rele arus lebih waktu *invers*. Sifat rele ini adalah memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan[6]. Hal ini dapat diartikan, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, begitu juga sebaliknya. Kurva karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau disebut *time-current characteristic*.

Karakteristik *invers* dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Pada standar ini dijelaskan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurva yaitu *standard inverse*, *very inverse*

dan *extremely invers*. Karakteristik kurva *invers* ini disebut dengan istilah *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, maka waktu operasi rele turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.

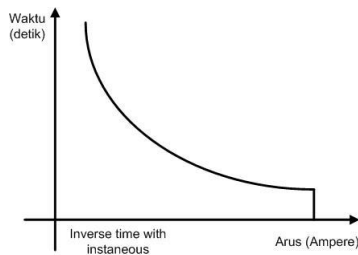
Pada gambar 2.3 ditampilkan gambar kurva karakteristik rele arus lebih waktu *invers*



Gambar 2.3 Kurva karakteristik rele arus lebih waktu *invers*

2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele lebih waktu instan bekerja tanpa penundaan waktu, akan tetapi bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik. Pada rele ini mempunyai sifat kerja yang didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Sering disebut dengan setelan *instant* pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah. Sering terjadi penggabungan antara rele arus lebih waktu *invers* dengan rele arus lebih waktu instan, seperti terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Kurva karakteristik invers dengan instan

2.3.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu *Invers* dan *Instan*

Rele arus lebih waktu *invers* memiliki karakteristik ketika arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele semakin cepat. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus gangguan yang terjadi maka waktu operasi rele akan lebih lama. Pada rele arus lebih waktu *invers*, terdapat dua penyetelan. Penyetelan tersebut adalah *setting* arus dan waktu. Penyetelan arus dilakukan dengan mengatur *tap* pada rele yang didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.4)$$

Penyetelan arus harus mempertimbangkan arus beban maksimal. Hal ini bertujuan agar kondisi ketika beban penuh rele tidak terjadi *trip*. I_{set} merupakan arus *pickup* dalam *Ampere*. Berdasarkan standar British BS-142 penyetelan arus pickup mempunyai batas sebagai berikut:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,4 I_{FLA}$$

Dimana I_{FLA} adalah arus beban maksimum peralatan.

Penyetelan waktu dilakukan dengan mengatur *time dial* untuk mendapatkan waktu operasi rele tersebut. Berdasarkan IEC 255-3, untuk gangguan pada sistem distribusi menggunakan jenis kurva *standard invers* dengan persamaan sebagai berikut berdasarkan referensi [3]:

$$t_d = \frac{k \times D}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \quad (2.5)$$

Di mana :

- t_d = waktu operasi (detik)
- D = *time dial*
- I = nilai arus gangguan (*Ampere*)
- I_{set} = arus *pickup* (*Ampere*)
- k = 0,14
- α = 0,02

Rele arus lebih instan memiliki karakteristik kerja tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan maka rele akan bekerja. Dalam

menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat minimum 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.6)$$

2.4 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Koordinasi rele pada jaringan sangat mempertimbangkan urutan *trip* rele *primer* dan *backup*. Dalam urutan *trip* tersebut terdapat *delay* agar tidak terjadi *malfuction* yaitu *trip* secara bersamaan. Perbedaan waktu kerja antara Rele utama dan Rele *backup* berdasarkan standar IEEE 242 adalah 0.2 – 0.35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Waktu buka CB : 0,08

Overtravel dari Rele : 0,00 s (rele digital)

Faktor keamanan : 0,17 s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari Rele diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s [7].

2.5 Distributed Generator

Pembangkit tersebar atau sering disebut *distributed generator* dapat didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik modular, kecil dan dapat sebagai perlengkapan penyimpanan (*storage devices*) yang mampu dihubungkan dengan jaringan maupun dioperasikan secara terpisah (*islanded*). *Distributed generator* merupakan pembangkit listrik dengan kapasitas kecil antara 15-10.000kW [8]. Adapun aplikasi penggunaan *distributed generator* yaitu:

➤ *Peaking power (load shaving)*

Pada aplikasi ini, *distributed generator* beroperasi antara 200-300 jam tiap tahun untuk mengurangi harga listrik yang harus dibayar oleh pelanggan (biasanya jenis pelanggan adalah industri) selama waktu beban puncak. Karakteristik *distributed generator* yang penting pada aplikasi ini adalah biaya pemasangan yang rendah dan dapat *start* hanya dalam beberapa menit.

➤ *Continous power*

Pada aplikasi ini *distributed generator* beroperasi paling sedikit 6000 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas secara terus menerus. Karakteristik *distributed generator* pada aplikasi ini adalah efisiensi tinggi, biaya pemeliharaan

rendah dan emisi rendah. *Distributed generator* pada aplikasi ini banyak digunakan oleh pelanggan jenis industri dan komersial

➤ *Combined Heat and Power (CHP)*

Aplikasi *distributed generator* ini beroperasi paling sedikit 600 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas. Energi panas yang dibuang dapat digunakan untuk memanaskan udara ruangan, air atau untuk keperluan lainnya. Dengan demikian, aplikasi ini mempunyai efisiensi sangat tinggi.

➤ *Emergency power*

Aplikasi *distributed generator* ini bertindak sebagai *backup generator* yang dihubungkan ke beban jika terjadi gangguan pada jaringan. Aplikasi ini digunakan untuk pelanggan penting dimana saluran tenaga tidak boleh padam seperti fasilitas kesehatan.

2.6 Sistem Distribusi Radial Terhubung dengan DG

Pada sistem distribusi radial umumnya arus gangguan mengalir dari sumber menuju lokasi gangguan. Arah aliran arus searah. Ketika *distributed generator* diinjeksikan pada jaringan radial, maka karakteristik jaringan radial bisa berubah. Ketika terjadi gangguan pada salah satu titik di antara dua *distributed generator*, maka akan menyebabkan tiap *distributed generator* memberi arus kontribusi pada lokasi gangguan tersebut .

Sistem proteksi yang bekerja secara otomatis dirancang untuk melakukan hal itu, yaitu mematikan arus ketika gangguan terjadi dan kemudian mengalirkannya lagi setelah *arc* hilang sehingga respon yang terjadi diharapkan terjadi dalam waktu seminimal mungkin. Bila sebuah *distributed generator* mengirimkan daya ke suatu sistem pada sebuah lokasi yang berada di antara alat proteksi dan gangguan, dan tidak ada komunikasi atau peralatan proteksi yang tepat, maka unit tersebut akan menghasilkan arus ke lokasi gangguan, sehingga gangguan akan terus terjadi. Gangguan yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan kerusakan baik di sistem distribusi maupun pada peralatan pada jalur tersebut[12].

Hubungan *distributed generator* pada saluran grid memang bukan hal baru, namun perkembangan jumlah pengguna *distributed generator* sudah meningkat pesat dan efek dari operasi saluran ini semakin terlihat.

Kehawatiran ini muncul karena terdapat beberapa masalah proteksi pada jaringan saat terhubung *distributed generator*. Adapun permasalahan yang terjadi adalah:

- Kesalahan pemutusan
- Kehilangan koordinasi
- Sistem proteksi tidak bekerja

Sambungan suatu *distributed generator* tidak hanya merubah karakteristik aliran daya yang terjadi akan tetapi juga mempengaruhi besar arus gangguan. Karena *distributed generator* dapat mengubah kontribusi arus hubung singkat pada jaringan, maka koordinasi proteksi pada sistem terpengaruh pula. Pengaruh tersebut dapat berupa penurunan keandalan, selektifitas atau mungkin dapat menyebabkan kehilangan koordinasi. Posisi dimana *distributed generator* disambungkan dengan jaringan juga dapat berpengaruh pada *kompleksitas* koordinasi proteksi yang akan diterapkan. Hal ini terjadi akibat arah arus kontribusi dari *distributed generator* mengalir menuju lokasi sumber gangguan.

2.7 Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan metode pencarian dengan menggunakan prinsip proses biologi yaitu evolusi alam. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dari awal sampai akhir. Sehingga prinsip seleksi alam yaitu “siapa yang kuat, dia yang bertahan (*survive*)” menjadi filosofi dari algoritma ini berdasarkan referensi [5].

Proses metode ini diawali dengan pembangkitan sejumlah populasi secara random sebagai solusi awal. Hasil random awal tersebut akan menjadi induk dari proses generasi selanjutnya. Jika suatu individu memenuhi persyaratan dalam menjalani sebuah proses evolusi, maka individu yang mencapai fungsi tujuan tersebut akan mempunyai kesempatan lebih untuk dipilih menjadi individu terbaik. Sedangkan individu yang tidak sesuai tujuan akan dibuang.

Dalam metode algoritma genetika terdapat istilah-istilah yang mempunyai arti tertentu dalam prosesnya. Adapun istilah-istilah yang sering digunakan dalam optimasi dengan metode ini adalah sebagai berikut:

2.7.1 Pembangkitan Populasi Awal

Populasi awal dibangkitkan dengan menentukan terlebih dahulu jumlah variabel yang menjadi *obyek random*. Jika variabel atau kromosom mempunyai *Nvar* variabel, maka akan terbentuk *array* sejumlah $1 \times Nvar$. Maka akan terbentuk kromosom, kromosom = [p1,p2,p3,p4.....,pNvar]. Populasi dibangkitkan dalam bentuk *Npop* kromosom. Sehingga akan terbentuk suatu matriks dengan *Npop* x *Nvar*. Variabel akan dinormalisasikan agar didapat harga antara 0 dan 1. Jika batasan variabel adalah *plo* dan *phi*, maka harga yang tidak ternormalisasi dapat diciptakan dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$p=(phi -plo)pnorm+plo \quad (2.7)$$

plo = Nilai terbesar dari rentang variabel yang diinginkan.

phi = Nilai terkecil dari rentang variabel yang diinginkan.

Pnorm = Nilai normalisasi dari variabel

Jika terdapat 3 variabel sebagai contoh kasus dari persamaan $x+2y+3z=22$, maka 3 variabel tersebut akan dibangkitkan pada populasi awal secara random dengan nilai acak sebagai berikut:

Kromosom[1]=

$x=10$	$y=3$	$z=2$
--------	-------	-------

2.7.2 Seleksi Alam

Tujuan dari seleksi alam untuk mendapatkan nilai fungsi *Npop* yang memenuhi syarat evaluasi dan batas-batas. Selanjutnya hasilnya akan diurutkan berdasarkan nilai terendah ke terbesar. Proses ini harus berada dalam tiap *iterasi* sehingga setiap kromosom dari populasi dapat mendapatkan hasil terbaik pada tiap generasi yang dilewati [5]. Dibawah ini tabel contoh pembangkitan populasi awal dan seleksi.

Tabel 2.1 Contoh populasi awal dengan populasi 8, kromosom dan harga *cost*

x	y	Cost
6,97450	0,8342	3,4766
0,30359	9,6828	5,5408
2,40200	9,3359	-2,2528
0,18758	8,9371	-8,0108

2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601
7,72460	5,5655	-9,8884
6,85370	9,8784	13,752

Tabel 2.2 Contoh kromosom yang masih bertahan setelah dilakukan seleksi 50%

x	y	Cost
7,72460	5,5655	-9,8884
0,18758	8,9371	-8,0108
2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601

Pada contoh diatas, rata-rata harga fungsi dari 8 populasi adalah -0,3423 dan harga terbaik adalah -9,8884. Setelah terjadi seleksi didapat rata-rata harga fungsi dari populasi adalah -5,8138.

2.7.3 Pasangan

Tahap ini akan dilakukan pembangkitan pasangan induk secara random dari kromosom – kromosom hasil seleksi. Sebagai contoh, $m = [2 \ 3]$ dan $p = [3 \ 1]$ merupakan pasangan yang mana kromosom 2 berpasangan dengan kromosom 3 dan kromosom 3 berpasangan dengan kromosom 1.

2.7.4 Perkawinan

Pada bagian ini dua pasangan induk akan dikawinkan sehingga menghasilkan dua pasang keturunan.

$$\text{induk}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{induk}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Crossover dilakukan secara *random* diantara variabel diatas:

$$\text{Keturunan}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{Keturunan}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Untuk contoh diatas, maka nilai pasangan induk adalah :

$$\text{Kromosom}_1 = [0.1876, 8.9371]$$

$$\text{Kromosom}_2 = [2.6974, 6.2647]$$

Pembangkitan secara random menentukan p_I sebagai lokasi persilangan. Nilai random dari pembangkitan β yang merupakan nilai acak antara 0 sampai 1 didapat $\beta = 0.0272$ dan $\beta = 0.7898$.

Maka keturunan baru akan bernilai sesuai dengan persamaan [5]:

$$p_{new1} = p_{ma} - \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.8)$$

$$p_{new2} = p_{ma} + \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.9)$$

Maka dapat dihasilkan:

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_1 &= [0.18758 - 0.0272 \times 0.18758 + 0.0272 \times 2.6974, \\ &6.2647] \end{aligned}$$

$$= [0.2558, 6.2647]$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_2 &= [2.6974 + 0.0272 \times 0.18758 - 0.0272 \times 2.6974, \\ &8.9371] \end{aligned}$$

$$= [2.6292, 8.9371]$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_3 &= [2.6974 - 0.7898 \times 2.6974 + 0.7898 \times 7.7246, \\ &6.2647] \end{aligned}$$

$$= [6.6676, 5.5655]$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_4 &= [7.7246 + 0.7898 \times 2.6974 - 0.7898 \times 7.7246, 8.9371 \\ &] \end{aligned}$$

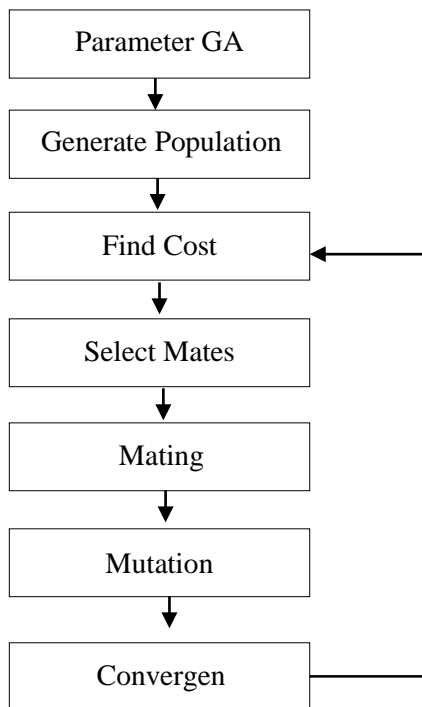
$$= [3.7544, 6.2647]$$

2.7.5 Mutasi

Proses mutasi diterapkan agar menghasilkan nilai *global optimum* serta tidak terjadi lokal optimum pada proses random. Terkadang dihasilkan hasil yang konvergen terlalu cepat pada satu daerah optimasi tanpa mempertimbangkan daerah lain secara umum. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu mendorong proses untuk lebih menjelajahi harga daerah-daerah lain. Probabilitas mutasi yang baik berada pada kisaran 0 sampai 0.3. Probabilitas mutasi yang terlalu kecil dapat menyebabkan nilai terjebak dalam optimum lokal, dan probabilitas mutasi yang terlalu besar dapat mempersulit dalam mendapatkan nilai konvergen [5].

2.7.6 Generasi

Setelah proses mutasi dilakukan, *iterasi* akan kembali ke awal untuk menghasilkan sejumlah generasi selanjutnya sehingga didapat populasi – populasi baru dan akhirnya mendapatkan harga fungsi terbaik berdasarkan urutan.



Gambar 2.5 *Flowchart continuous genetic algorithm*

2.7.7 Contoh Program Algoritma Genetika

Berikut ini akan ditampilkan contoh Program algoritma genetika yang terdapat pada [5] menggunakan bahasa pemrograman:

➤ **Objective Function *testfunction.m***

% Test functions for optimization

% These are the test functions that appear in Appendix I.

% Set funnum to the function you want to use.

```

% funnum=17 is for a MOO function
% Haupt & Haupt
% 2003
function f=testfunction(x)
funnum=16;
if funnum==1 %F1
f=abs(x)+cos(x);
elseif funnum==2 %F2
f=abs(x)+sin(x);
elseif funnum==3 %F3
f=x(:,1).^2+x(:,2).^2;
elseif funnum==4 %F4
f=100*(x(:,2).^2-x(:,1)).^2+(1-x(:,1)).^2;
elseif funnum==5 %F5
f(:,1)=sum(abs(x')-10*cos(sqrt(abs(10*x'))));
elseif funnum==6 %F6
f=(x.^2+x).*cos(x);
elseif funnum==7 %F7
f=x(:,1).*sin(4*x(:,1))+1.1*x(:,2).*sin(2*x(:,2));
elseif funnum==8 %F8
f=x(:,2).*sin(4*x(:,1))+1.1*x(:,1).*sin(2*x(:,2));
elseif funnum==9 %F9
f(:,1)=x(:,1).^4+2*x(:,2).^4+randn(length(x(:,1)),1);
elseif funnum==10 %F10
f(:,1)=20+sum(x'.^2-10*cos(2*pi*x'))';
elseif funnum==11 %F11
f(:,1)=1+sum(abs(x').^2/4000)'-prod(cos(x'))';

```

➤ **Program Utama GA.m**

```

% Continuous Genetic Algorithm
% minimizes the objective function designated in ff
% Before beginning, set all the parameters in parts
% I, II, and III
% Haupt & Haupt
% 2003
% _____

```

```

% I Setup the GA
ff='testfunction'; % objective function
npar=2; % number of optimization variables
varhi=10; varlo=0; % variable limits
% _____
% II Stopping criteria
maxit=100; % max number of iterations
mincost=-9999999; % minimum cost
% _____
% III GA parameters
popsize=12; % set population size
mutrate=.2; % set mutation rate
selection=0.5; % fraction of population kept
Nt=npar; % continuous parameter GA Nt=#variables
keep=floor(selection*popsize); % #population
% members that survive
nmut=ceil((popsize-1)*Nt*mutrate); % total number of
% mutations
M=ceil((popsize-keep)/2); % number of matings
% _____
% Create the initial population
iga=0; % generation counter
initialized
par=(varhi-varlo)*rand(popsize,npar)+varlo; % random
cost=feval(ff,par); % calculates population cost
% using ff
[cost,ind]=sort(cost); % min cost in element 1
par=par(ind,:); % sort continuous
minc(1)=min(cost); % minc contains min of
meanc(1)=mean(cost); % meanc contains mean of
population
% _____
% Iterate through generations
while iga<maxit
iga=iga+1; % increments generation counter
% _____

```

```

% Pair and mate
M=ceil((popsize-keep)/2); % number of matings
prob=flipud([1:keep]'/sum([1:keep]))); % weights
% chromosomes
odds=[0 cumsum(prob(1:keep))']'; % probability
% distribution
% function
pick1=rand(1,M); % mate #1
pick2=rand(1,M); % mate #2
% ma and pa contain the indicies of the chromosomes
% that will mate
ic=1;
while ic<=M
for id=2:keep+1
if pick1(ic)<=odds(id) & pick1(ic)>odds(id-1)
ma(ic)=id-1;
end
if pick2(ic)<=odds(id) & pick2(ic)>odds(id-1)
pa(ic)=id-1;
end
end
ic=ic+1;
end
%
% _____
% Performs mating using single point crossover
ix=1:2:keep; % index of mate #1
xp=ceil(rand(1,M)*Nt); % crossover point
r=rand(1,M); % mixing parameter
for ic=1:M
xy=par(ma(ic),xp(ic))-par(pa(ic),xp(ic)); % ma and pa
% mate
par(keep+ix(ic),:)=par(ma(ic),:); % 1st offspring
par(keep+ix(ic)+1,:)=par(pa(ic),:); % 2nd offspring
par(keep+ix(ic),xp(ic))=par(ma(ic),xp(ic))-r(ic).*xy;
% 1st
par(keep+ix(ic)+1,xp(ic))=par(pa(ic),xp(ic))+r(ic).*xy;

```

```

% 2nd
if xp(ic)<npar % crossover when last variable not
selected
par(keep+ix(ic),:)=par(keep+ix(ic),1:xp(ic))
par(keep+ix(ic)+1,xp(ic)+1:npar)];
par(keep+ix(ic)+1,:)=par(keep+ix(ic)+1,1:xp(ic))
par(keep+ix(ic),xp(ic)+1:npar)];
end % if
end
%
% Mutate the population
mrow=sort(ceil(rand(1,nmut)*(popsize-1))+1);
mcol=ceil(rand(1,nmut)*Nt);
for ii=1:nmut
par(mrow(ii),mcol(ii))=(varhi-varlo)*rand+varlo;
% mutation
end % ii
%
% The new offspring and mutated chromosomes are
% evaluated
cost=feval(ff,par);
%
% Sort the costs and associated parameters
[cost,ind]=sort(cost);
par=par(ind,:);
%
% Do statistics for a single nonaveraging run
minc(iga+1)=min(cost);
meanc(iga+1)=mean(cost);
%
% Stopping criteria
if iga>maxit | cost(1)<mincost
break
end
[iga cost(1)]
end %iga

```

```

%
% Displays the output
day=clock;
disp(datestr(datenum(day(1),day(2),day(3),day(4),day(5),
day(6)),0))
disp(['optimized function is ' ff])
format short g
disp(['popsize = ' num2str(popsiz) ' mutrate = '
num2str(mutrate) ' # par = ' num2str(npar)])
disp(['#generations=' num2str(iga) ' best cost='
num2str(cost(1))])
disp(['best solution'])
disp([num2str(par(1,:))])
disp('continuous genetic algorithm')
figure(24)
iters=0:length(minc)-1;
plot(iters,minc,iters,meanc,'-');
xlabel('generation');ylabel('cost');
text(0,minc(1),'best');text(1,minc(2),'population average')
%

```

2.8 Sistem Adaptif

Sistem proteksi konvensional mempunyai sensitivitas yang kurang baik dan mempunyai respon lambat. Sistem proteksi adaptif pada jaringan distribusi atau dalam istilah *Adaptive Distribution System* (ADPS) diperlukan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan sistem proteksi konvensional. ADPSs mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem proteksi konvensional. Keunggulan tersebut diantaranya adalah peningkatan sistem kepekaan, keandalan, efisiensi dan keamanan.

ADPSs diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu berbasis komunikasi dan tidak berbasis komunikasi. Dalam sistem berbasis komunikasi, melingkupi komunikasi terpusat dan sistem *multi-agent*. Komunikasi dari ADPS berlangsung antara rele arus lebih digital dengan komputer *substation* dan dari komputer *substation* dengan komputer pusat. Komunikasi ini melewati suatu jalur hubungan tertentu .

Komunikasi merupakan bagian yang sangat dipertimbangkan dalam sistem proteksi adaptif berbasis komunikasi. Komunikasi dibutuhkan untuk melayani komunikasi antara *distributed generation*, rele dan *Central Relaying Unit* (CRU). Intranet dapat digunakan sebagai komunikasi utama jaringan yang terhubung dengan *router* . Dikarenakan intranet bersifat *closed network* sehingga dalam implementasi akan memakan biaya yang tinggi, dibandingkan dengan sistem internet. Akan tetapi intranet mempunyai keandalan dan keamanan yang lebih dari pada internet. Internet dapat pula digunakan sebagai *backup* jika komunikasi secara intranet gagal dilakukan.

Distributed Network Protocol 3.0 (DNP3) dapat disarankan sebagai protokol komunikasi dari sistem proteksi *adaptif* . Protokol digunakan untuk memfasilitasi pertukaran data antara *distributed generator*, rele dan CRU. DNP3 pertama kali diperkenalkan pada tahun 1993 oleh GE dan berdasarkan standar IEC 60870-5 protokol . Pertama kali dibuat untuk sistem SCADA. Media dalam bentuk fisik yang dapat digunakan dalam sistem komunikasi adalah fiber optik.

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

3.1 Data Sistem Distribusi Radial

Pada tugas akhir ini digunakan sistem distribusi radial 4 bus dengan penambahan satu pembangkit tersebar yang terletak pada bus 4. Sumber listrik utama pada sistem ini berupa *grid* yang terhubung dengan *Distributed Generator*. Jenis dari *Distributed Generator* adalah *generator sinkron* dan *generator* ini dapat dioperasikan dengan cara mengatur *Circuit Breaker* yang terletak pada jaringan. Untuk beban yang terpasang menggunakan beban *lump load*, beban *lump load* merupakan gabungan dari beban motor dan *static load* dengan perbandingan 80 % dan 20 % Lebih jelasnya mengenai data *grid* dan data *distributed generator* dan data beban dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.1 Data *Grid*

No	Pembangkit	MVAsc (max)	MVAsc(min)	Tegangan
1	<i>Grid</i>	250	200	13.8 kV

Tabel 3.2 Data *Distributed Generator*

No	Pembangkit	Daya (MW)	Tegangan(kV)	PF (%)
1	DG1	6	13.8	85

Tabel 3.3 Data Beban

No	Beban	Bus	MVA	Tegangan (kV)	PF (%)
1	Load 1	1	1	13.8	90
2	Load 2	2	0.5	13.8	90
3	Load 3	3	1	13.8	90
4	Load 4	4	2	13.8	90

Pada sistem distribusi tersebut menggunakan kabel untuk menghubungkan jaringan antar bus. Lebih jelasnya mengenai data kabel bias dilihat pada table 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Data Kabel

No	Line	R (Ω)	X (Ω)	Jarak (m)
1.	Line 1-2	0.15088	0.0973	500
2.	Line 2-3	0.12169	0.0955	1000
3.	Line 3-4	0.12169	0.0955	300

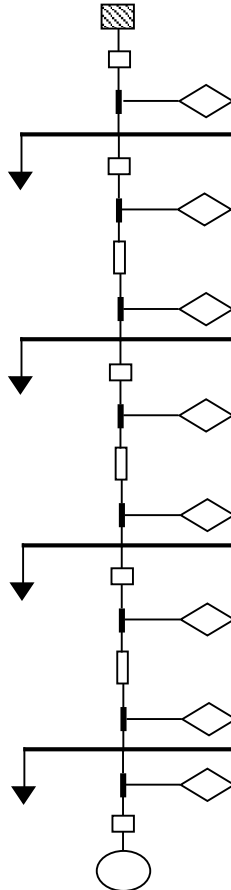
Tabel 3.5 Data Pengaman Rele dan CT Saluran Utama

No	ID Rele	Arah	Ratio CT	Line
1	RF1	Forward	300	Line 1-2
2	RF2	Forward	30	Line 2-3
3	RR3	Reverse	30	Line 2-3
4	RF3	Forward	50	Line 3-4
5	RR2	Reverse	50	Line 3-4
6	RF4	Forward	100	Line 4-5
7	RR1	Reverse	50	Line 4-5

Tabel diatas merupakan data masukan yang nantinya diolah dengan *software*, hasil dari *software* ini nantinya akan dibandingkan hitungan *manual* dan hasilnya akan di masukan ke *setting* rele untuk mengecek bahwa hasil tersebut sesuai dengan koordinasi. Jenis rele yang digunakan adalah rele ABB REX 521, rele jenis ini digunakan untuk proteksi, kontrol, pengukuran dan pengawasan pada tegangan menengah. Rele ini dipilih karena *range setting I pick-up* yang dimiliki sangat besar berkisar diantara 0.01 sampai 40 kali CT sekunder. Pada umum nya

pemilihan rele tergantung dari desain sistem kelistrikan sehingga tidak terjadi kesalahan pemilihan rele.

Untuk lebih jelasnya mengenai letak rele dalam sistem kelistrikan bisa dilihat pada gambar 3.1 berikut :



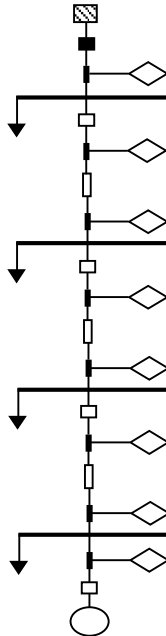
Gambar 3.1 Single Line Diagram Sistem

3.2 Perubahan Sistem Jaringan

Dengan adanya *distributed generator* sistem jaringan distribusi mengalami perubahan konfigurasi yang disebabkan karena kondisi *distributed generator* tersebut dalam keadaan *off* atau *on*. Banyaknya perubahan konfigurasi tergantung dari banyak nya *distributed generator* yang masuk ke dalam jaringan. Pengaruh *distributed generator* dalam jaringan adalah koordinasi proteksi mengalami perubahan karena adanya dua sumber atau lebih yang masuk ke sistem. Lebih jelasnya mengenai perubahan konfigurasi sistem bisa dilihat pada gambar 3.2 berikut ini :

3.2.1 Jaringan Hanya Terhubung ke Grid

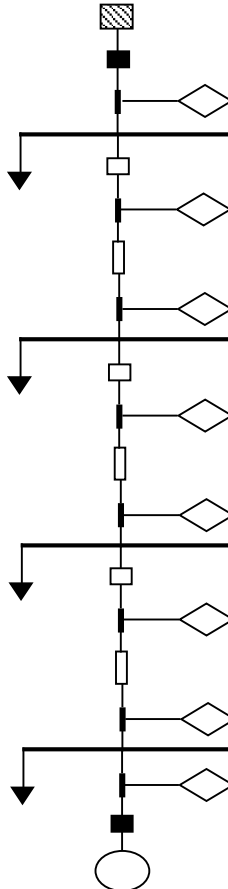
Pada kondisi ini jaringan hanya terhubung ke *grid* sehingga arah arus hanya satu arah atau *forward*.



Gambar 3.2 Jaringan Hanya Terhubung ke Grid

3.2.2 Jaringan Terhubung ke *Grid* dan *Distributed Generator*

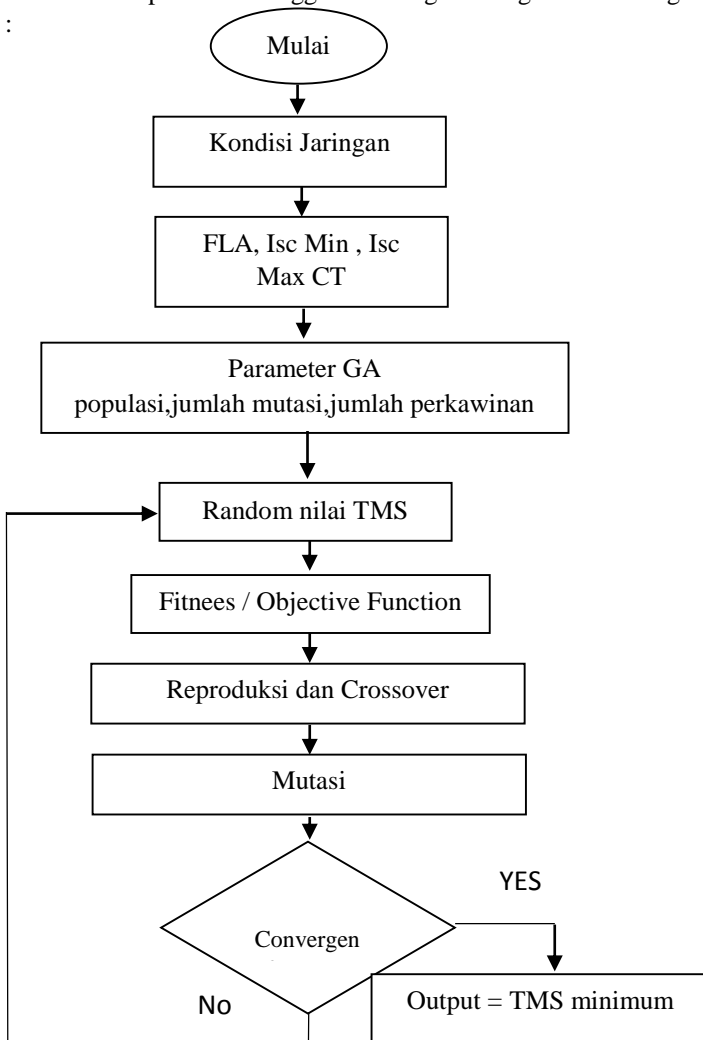
Dengan adanya *distributed generator* sumber arus mengarah dari arah yang berbeda, yang pertama dari *grid* ke *distributed generator* atau *current forward* yang kedua dari *Distributed Generator* ke *grid* atau *current reverse*. Lebih jelasnya mengenai sistem jaringan bisa dilihat pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Jaringan Terhubung ke *Grid* dan *Distributed Generator*

3.3 Perancangan Koordinasi dengan Algoritma Genetika

Koordinasi proteksi menggunakan algoritma genetika sebagai berikut :



Gambar 3.4 Flowchart Algoritma Genetika

Berikut merupakan penjelasan dari flowchart diatas :

1. Langkah pertama adalah melakukan sejumlah input data yaitu arus beban penuh yang melewati tiap rele, rasio *current transformer* yang digunakan serta data arus hubung singkat minimal dan maksimal yang melewati rele. Data didapat dari simulasi dengan menggunakan. Terdapat beberapa data dari konfigurasi topologi yang berbeda. Data-data akan mempunyai status *On/Off* tergantung topologi yang sedang aktif dengan mengelompokkan matriks data pada sejumlah *id* yang berbeda.
2. Langkah kedua adalah membangkitkan sejumlah data awal yang berupa nilai TD (*Time dial*) dan Arus *pickup* (Ipu). Pembangkitan nilai data-data awal ini dilakukan secara random dengan batas-batas yang telah ditentukan. Dalam algoritma genetika nilai TD dan Ipu dikelompokkan dalam suatu kromosom dimana jumlah TD beserta Ipu berjumlah sama dengan jumlah rele yang akan dihitung. Adapun batasan dari nilai TD dan Arus *pickup* atau sering disebut *constraint* adalah:

$$\text{➤} \quad 0,05 \leq Td \leq 1,2$$

$$\text{➤} \quad 1,05 \times \text{Arus Full Load} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{Arus Full load}$$

3. Langkah ketiga adalah mengevaluasi nilai hasil random kedalam fungsi *objektif* yaitu:

$$\text{Min } J = \sum_{i=1}^n w_i t_i$$

Dimana n adalah jumlah rele , t_i adalah waktu operasi rele saat gangguan sedangkan w_i koefisien yang tergantung pada zona hubung singkat. Tujuan dari persamaan fungsi tujuan adalah meminimalkan jumlah waktu operasi rele utama.

4. Langkah empat adalah memeriksa nilai-nilai dari hasil evaluasi dengan *constraint* yang telah ditentukan. Adapun *constraint* dalam koordinasi proteksi adalah :
 - a. Selisih waktu kerja rele backup – rele utama saat gangguan pada bus yang sama atau sering disebut *coordination time interval* (CTI) harus lebih besar dari 0.2 s. Bila T_{nk} merupakan waktu

operasi rele backup pertama R_n dari gangguan bus k dan T_{ik} merupakan waktu operasi rele utama R_i maka:

$$\triangleright T_{nk} - T_{ik} - CTI \geq 0$$

b. Waktu minimal operasi rele adalah 0.1 s.

5. Langkah kelima yaitu reproduksi. Pada tahap ini, setelah didapat hasil *fitness* setelah evaluasi dilakukan, maka perlu ditentukan peringkat *fitness* berdasarkan bobot dari tiap *fitness* tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{Cn} = \frac{nKeep - n + 1}{\sum_{i=1}^{nKeep} i} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana *Nkeep* adalah jumlah ranking serta *n* adalah urutan ranking yang dihitung. Sehingga dalam persamaan tersebut akan dihasilkan angka posisi kemungkinan kromosom berada.

6. Langkah selanjutnya adalah *crossover*. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan kawin silang adalah:

$$x_{new} = (1-\beta)x_m + \beta x_d \dots\dots\dots 3.2$$

7. Proses diatas akan berlangsung selama $I > Loop$, dimana *Loop* merupakan jumlah iterasi yang telah ditentukan sedangkan *I* merupakan variabel yang tiap iterasi bertambah 1 nilainya.

BAB 4

Hasil Simulasi dan Analisa

4.1 Analisa Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan kondisi yang abnormal yang terjadi pada sistem tenaga listrik, baik terjadi secara sengaja maupun tidak sengaja pada impedansi yang rendah di antara dua titik yang mempunyai beda potensial. Hubung singkat menimbulkan arus lebih yang abnormal pada jaringan tenaga listrik dan pada sisi tegangan mengalami penurunan, sehingga hubung singkat ini dapat merusak peralatan jika tidak segera ditangani. Besarnya hubung singkat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya banyak pembangkit yang ada di dalam sistem, letak gangguan dan jenis gangguan.

Dalam tugas akhir ini, simulasi hubung singkat nya dibantu *software* . Dengan adanya dua sumber listrik yang ada dalam sistem maka ada beberapa kondisi untuk perhitungan hubung singkatnya. Hasil simulasi hubung singkat bisa dilihat pada tabel 4.1-4.3 berikut ini:

Tabel 4.1 Arus hubung singkat tiap bus pada kondisi hanya terhubung dengan *Grid*.

No	Bus	Tegangan(kV)	Isc max (kA)	Isc Min (kA)
1	Bus1	13.8	9.55	8.37
2	Bus2	13.8	9.05	7.88
3	Bus3	13.8	8.15	7.05
4	Bus4	13.8	7.89	6.82

Tabel 4.2 Arus hubung singkat tiap bus pada kondisi terhubung dengan grid dan *distributed generator*

No	Bus	Tegangan(kV)	Isc max (kA)	Isc Min (kA)
1	Bus1	13.8	10.99	9.4
2	Bus2	13.8	10.52	8.91
3	Bus3	13.8	9.66	8.08
4	Bus4	13.8	9.41	7.85

Tabel 4.3 Arus hubung singkat tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke *distributed generator*

No	Bus	Tegangan(kV)	Isc max (kA)	Isc Min (kA)
1	Bus1	13.8	2.62	1.03
2	Bus2	13.8	2.66	1.04
3	Bus3	13.8	2.73	1.05
4	Bus4	13.8	2.75	1.05

4.2 Analisa Load Flow

Loadflow atau aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Dengan adanya *distributed generator* aliran daya akan mengalami perubahan sesuai kondisi *distributed generator* yang masuk ke sistem, lebih jelasnya mengenai aliran daya bisa dilihat pada tabel 4.4-4.6 berikut ini :

Tabel 4.4 Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke *grid*

No	Bus	Tegangan (kV)	Beban (MVA)	FLA (A)
1	Bus1	13.8	1	197.5
2	Bus2	13.77	0.5	155.8
3	Bus3	13.74	1	133.9
4	Bus4	13.73	2	89.3

Tabel 4.5 Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke DG

No	Bus	Tegangan (kV)	Beban (MVA)	FLA (A)
1	Bus1	13.7	1	41.9
2	Bus2	13.77	0.5	63.8
3	Bus3	13.79	1	108.3
4	Bus4	13.8	2	197.4

Tabel 4.6 Aliran daya tiap bus pada kondisi hanya terhubung ke *grid* dan DG

No	Bus	Tegangan (kV)	Beban (MVA)	FLA (A)
1	Bus1	13.8	1	64.1
2	Bus2	13.79	0.5	21.9
3	Bus3	13.79	1	44.5
4	Bus4	13.8	2	133.2

4.3 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Manual

4.3.1 Koordinasi Proteksi Ketika Hanya Terhubung Grid

❖ Rele RF4

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	7890	6820	89.3	100

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$94 \leq \mathbf{IP} \leq 125$$

$$\mathbf{IP} = 100$$

$$\mathbf{T_{ap}} = \frac{IP}{CT} = \frac{100}{100} = 1$$

➤ Time Dial

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{7890}{100} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.065$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 6820$$

$$I_{set} \leq 5456$$

$$I_{set} = 400$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{400}{100} = 4$$

❖ **Rele RF3**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	8150	7050	133.9	150

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times FLA \leq IP \leq 1.4 \times FLA$$

$$141 \leq IP \leq 187$$

$$IP = 150$$

$$\text{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{150}{150} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.3 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc \text{ Max}}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{8150}{150} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.178$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 7050$$

$$I_{set} \leq 5640$$

$$I_{set} = 750$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{750}{150} = 5$$

❖ **Rele RF2**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9050	7880	155.8	200

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \text{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$164 \leq \text{IP} \leq 197$$

$$\text{IP} = 200$$

$$\text{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{200}{200} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.5 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9050}{200} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\text{Td} = 0.28$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 7880$$

$$I_{set} \leq 6304$$

$$I_{set} = 1060$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{1060}{200} = 5.3$$

❖ **Rele RF1**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9550	8370	197	200

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$207 \leq \mathbf{IP} \leq 277$$

$$\mathbf{IP} = 240$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{240}{200} = 1.2$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.7 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9550}{200} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.4$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 8370$$

$$I \text{ set} \leq 6996$$

$$I \text{ set} = 1600$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{1600}{200} = 8$$

4.3.2 Koordinasi Proteksi Ketika Terhubung *Grid* dan *Distributed Generator*

❖ Rele RF4

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9190	7850	89.3	100

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$94 \leq \mathbf{IP} \leq 125$$

$$\mathbf{IP} = 100$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{100}{100} = 1$$

➤ Time Dial

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{7890}{100} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.068$$

➤ High Set

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 7850$$

$$I \text{ set} \leq 6280$$

$$I \text{ set} = 400$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{400}{100} = 4$$

❖ **Rele RF3**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	9440	8050	133.9	150

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$141 \leq \mathbf{IP} \leq 187$$

$$\mathbf{IP} = 150$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{150}{150} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{8150}{150} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.061$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 8050$$

$$I \text{ set} \leq 6440$$

$$I \text{ set} = 750$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{6000}{150} = 40$$

❖ **Rele RF2**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	10300	8910	155.8	200

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$164 \leq \mathbf{IP} \leq 197$$

$$\mathbf{IP} = 200$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{200}{200} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_p} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9050}{200} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.058$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 8910$$

$$I \text{ set} \leq 7128$$

$$I \text{ set} = 1060$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{7060}{200} = 35.3$$

❖ **Rele RF1**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	10780	8370	197	200

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times \text{FLA} \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times \text{FLA}$$

$$207 \leq \mathbf{IP} \leq 277$$

$$\mathbf{IP} = 240$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{240}{200} = 1.2$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_p} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{9550}{200} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.059$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 8370$$

$$I \text{ set} \leq 6996$$

$$I \text{ set} = 1600$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{1600}{200} = 8$$

❖ **Rele RR3**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2620	1.030	41.9	50

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 41.9 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 41.9$$

$$44 \leq \mathbf{IP} \leq 58.7$$

$$\mathbf{IP} = 50$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{50}{50} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_p} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2620}{50} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.058$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 1030$$

$$I_{set} \leq 824$$

$$I_{set} = 800$$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{800}{50} = 16$$

❖ **Rele RR2**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2660	1040	63	72

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 63 \leq IP \leq 1.4 \times 63$$

$$66 \leq IP \leq 88$$

$$IP = 66$$

$$Tap = \frac{IP}{CT} = \frac{72}{72} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.3 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_p} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2620}{72}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.16$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 1040$$

$$I_{set} \leq 832$$

$$I_{set} = 780$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{780}{72} = 12$$

❖ **Rele RR1**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2730	1050	108	110

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 108 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 108$$

$$113 \leq \mathbf{IP} \leq 151$$

$$\mathbf{IP} = 113$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{113}{110} = 1.03$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.5 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc \text{ Max}}}{I_p}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2730}{113}\right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.23$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 1050$$

$$I_{set} \leq 840$$

$$I_{set} = 660$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{660}{110} = 6$$

❖ **Rele RR0**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2750	1050	197	200

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 197 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 197$$

$$207 \leq \mathbf{IP} \leq 276$$

$$\mathbf{IP} = 207$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{207}{200} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.7 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc \text{ Max}}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2750}{207} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.2650.0$$

➤ **High Set**

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ Min}}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 1050$$

$$I_{set} \leq 840$$

$$I_{set} = 840$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{840}{200} = 4.2$$

4.3.3 Koordinasi Proteksi Ketika Hanya Terhubung *Distributed Generator*

❖ Rele RR3

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2620	1.030	41.9	50

➤ Setting Low Set

$$1.05 \times 41.9 \leq \text{IP} \leq 1.4 \times 41.9$$

$$44 \leq \text{IP} \leq 58.7$$

$$\text{IP} = 50$$

$$\text{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{50}{50} = 1$$

➤ Time Dial

$$T_{cb} = 0.1 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{I_{sc} \text{ Max}}{I_p} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2620}{50} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = 0.058$$

➤ High Set

$$I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc} \text{ Min}$$

$$I_{set} \leq 0.8 \times 1030$$

$$I_{set} \leq 824$$

$$I_{set} = 800$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT} = \frac{800}{50} = 16$$

❖ **Rele RR2**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2660	1040	63	72

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 63 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 63$$

$$66 \leq \mathbf{IP} \leq 88$$

$$\mathbf{IP} = 66$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{72}{72} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.3 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2620}{72} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.16$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times Isc \text{ Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 1040$$

$$I \text{ set} \leq 832$$

$$I \text{ set} = 780$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{780}{72} = 10.8$$

❖ **Rele RR1**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2730	1050	108	116

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 108 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 108$$

$$113 \leq \mathbf{IP} \leq 151$$

$$\mathbf{IP} = 113$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{113}{110} = 1.03$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.5 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2730}{113} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.23$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times \text{Isc Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 1050$$

$$I \text{ set} \leq 840$$

$$I \text{ set} = 660$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{840}{116} = 7.2$$

❖ **Rele RR0**

Jenis	Model	Kurva	Isc Max	Isc Min	FLA	CT
ABB	REX521	SI	2750	1050	197	205

➤ **Setting Low Set**

$$1.05 \times 197 \leq \mathbf{IP} \leq 1.4 \times 197$$

$$207 \leq \mathbf{IP} \leq 276$$

$$\mathbf{IP} = 207$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{IP}{CT} = \frac{207}{205} = 1$$

➤ **Time Dial**

$$T_{cb} = 0.7 \text{ s}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{Isc \text{ Max}}{Ip} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$Td = \frac{\left[\frac{2750}{205} \right]^{0.02} - 1}{0.14}$$

$$\mathbf{Td} = 0.058$$

➤ **High Set**

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times Isc \text{ Min}$$

$$I \text{ set} \leq 0.8 \times 1050$$

$$I \text{ set} \leq 840$$

$$I \text{ set} = 840$$

$$\mathbf{Tap} = \frac{Iset}{CT} = \frac{840}{205} = 4.09$$

4.4 Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika

Perhitungan menggunakan algoritma genetika membutuhkan data awal sebagai data perhitungan, yaitu *Isc minimum*, *Isc maximum*, *full load ampere*, rasio CT. Ke empat data tersebut dipengaruhi oleh kondisi *distributed generator* sehingga ada beberapa kondisi topologi jaringan yang berbeda. Hasil program berupa nilai :

- a. Time Dial
- b. Time Delay

4.4.1 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke *Grid*

Tabel 4.7 Koordinasi pada kondisi terhubung ke *grid*

ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Highset		Arus Pick-up
	Tap	TMS		Tap	TD	
RF1	1.16	0.6011	231.42	33.48	0.1452	6696
RF2	0.86	0.4095	172.34	31.52	0.3867	6304
RF3	0.98	0.2277	146.56	37.0	0.6850	5640
RF4	1.06	0.0801	106.15	54.56	0.9352	5456

4.4.2 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke *Distributed Generator*

Tabel 4.8 Koordinasi pada kondisi terhubung ke *distributed generator*

ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Highset		Arus Pick-up
	Tap	TMS		Tap	TD	
RR0	1.16	0.058	232.05	4.20	0.1616	840
RR1	1.10	0.231	121.27	7.64	0.5051	840
RR2	0.36	0.426	72.33	4.16	0.8663	832
RR3	0.70	0.720	45.45	12.68	1.1937	824

4.4.3 Hasil Koordinasi Pada Kondisi Terhubung ke Grid dan Distributed Generator

Tabel 4.9 Koordinasi pada kondisi terhubung ke grid dan ditributed generator

ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Highset		Arus
	Tap	TMS		Tap	TD	
RR0	1.16	0.058	232.05	4.20	0.1616	840
RR1	1.10	0.231	121.27	7.64	0.5051	840
RR2	0.36	0.426	72.33	4.16	0.8663	832
RR3	0.70	0.720	45.45	12.68	1.1937	824
RF1	1.16	0.6011	231.42	33.48	0.1452	6696
RF2	0.86	0.4095	172.34	31.52	0.3867	6304
RF3	0.98	0.2277	146.56	37.0	0.6850	5640
RF4	1.06	0.0801	106.15	54.56	0.9352	5456

4.5 Hasil Koordinasi Proteksi Menggunakan Perhitungan Algoritma Genetika dan Manual

Untuk mengetahui hasil koordinasi menggunakan algoritma genetika apakah bisa digunakan atau tidak diperlukan data pembanding yaitu menggunakan perhitungan manual. Lebih jelas nya mengenai bisa dilihat pada tabel 4.10 – 4.12 berikut ini ;

4.5.1 Koordinasi proteksi menggunakan perhitungan algoritma genetika dan manual pada kondisi terhubung ke grid

Tabel 4.10 Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke grid

	Algoritma Genetika			Manual		
ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Lowset		Arus
	Tap	TMS		Tap	TMS	
RF1	1.16	0.49	231.42	1.2	0.4	240
RF2	0.86	0.32	172.34	1	0.28	200

RF3	0.98	0.18	146.56	1	0.178	150
RF4	1.06	0.06	106.15	1	0.065	100

4.5.2 Koordinasi proteksi menggunakan perhitungan algoritma genetika dan manual pada kondisi terhubung ke *distributed generator*

Tabel 4.11 Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke *distributed generator*

	Algoritma Genetika			Manual		
ID Rele	Setting Highset		Arus Pick-up	Setting Highset		Arus Pick-up
	Tap	Td		Tap	TMS	
RR0	4.20	0.05	840	4.2	0.058	840
RR1	7.64	0.16	840	6	0.16	660
RR2	4.16	0.3	832	12	0.23	780
RR3	12.68	0.46	824	16	0.26	800

4.5.3 Koordinasi proteksi menggunakan perhitungan algoritma genetika dan manual pada kondisi terhubung ke *distributed generator* dan *grid*

Tabel 4.12 Hasil perhitungan manual dan algoritma genetika pada kondisi terhubung ke *distributed generator* dan *grid*

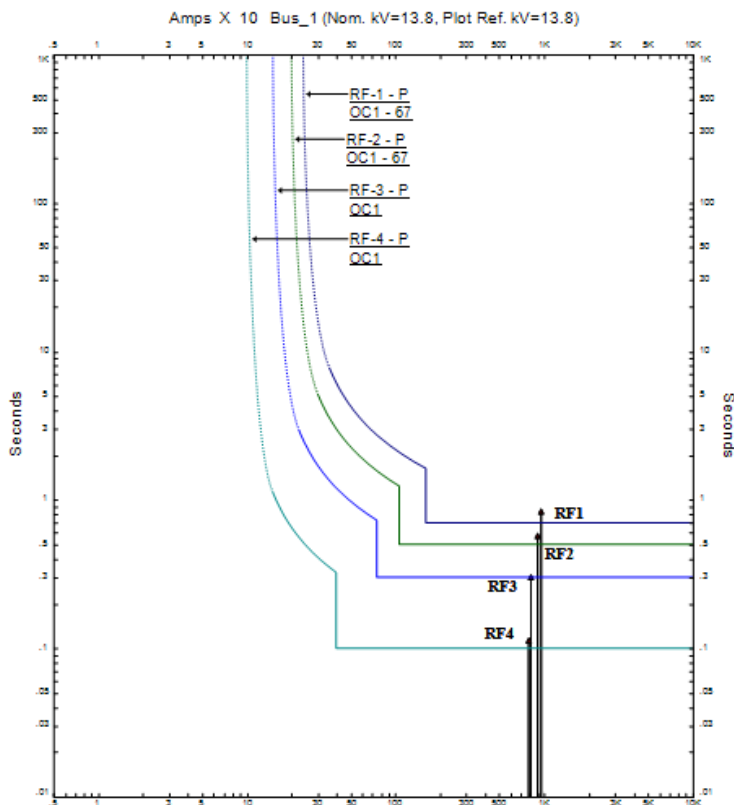
	Algoritma Genetika			Manual		
ID Rele	Setting Lowset		Arus Pick-up	Setting Lowset		Arus Pick-up
	Tap	TMS		Tap	TMS	
RF1	1.16	0.6011	231.42	1.2	0.4	240
RF2	0.86	0.4095	172.34	1	0.28	200
RF3	0.98	0.2277	146.56	1	0.178	150
RF4	1.06	0.0801	106.15	1	0.065	100
	Algoritma Genetika			Manual		
	Setting Highset		Arus	Setting Highset		Arus

ID Rele	Tap	Td	Pick-up	Tap	TMS	Pick-up
RR0	4.20	0.1616	840	4.2	0.1	840
RR1	7.64	0.5051	840	6	0.3	660
RR2	4.16	0.8663	832	12	0.5	780
RR3	12.68	1.1937	824	16	0.7	800

4.6 Time Current Curve

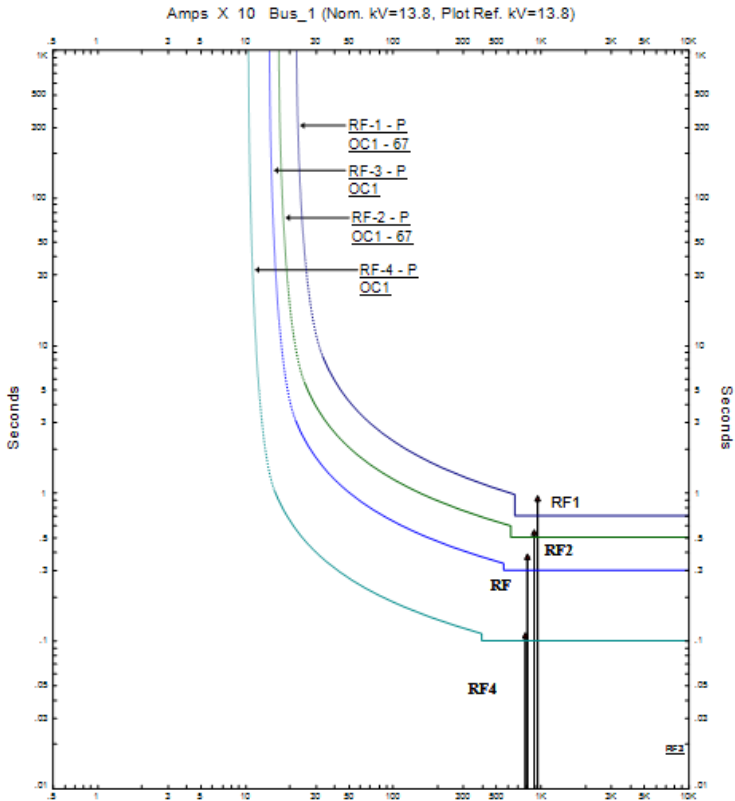
Time Current Curve digunakan untuk melihat kecepatan *circuit breaker open* pada kondisi hubung singkat. Time current curve terdiri dari sumbu x dan sumbu y , dimana x mempresentasikan arus hubung singkat dan y mempresentasikan waktu.

4.6.1 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan Grid Perhitungan Manual



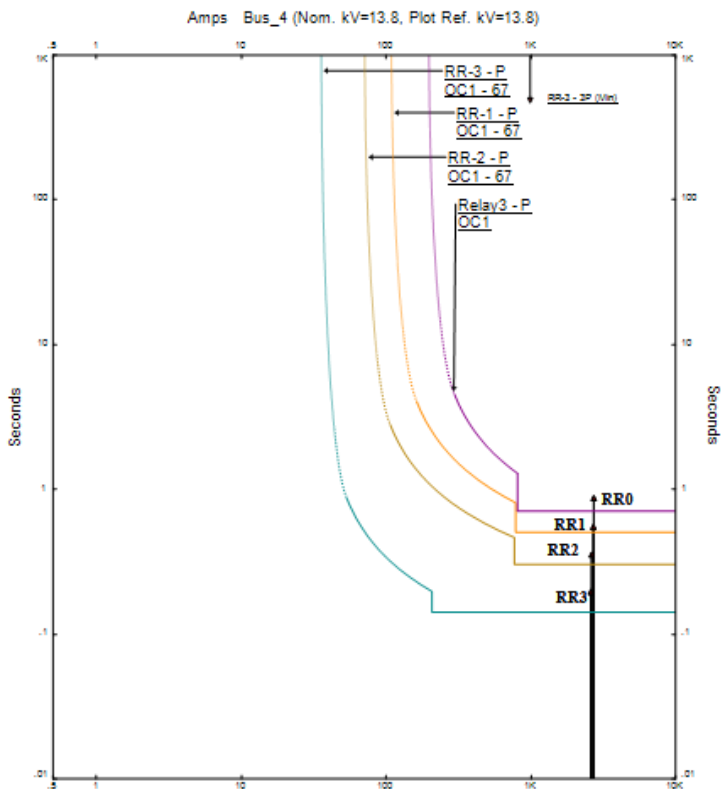
Gambar 4.1 Time Current Curve Case 1 Perhitungan Manual

4.6.1 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan Grid Perhitungan GA



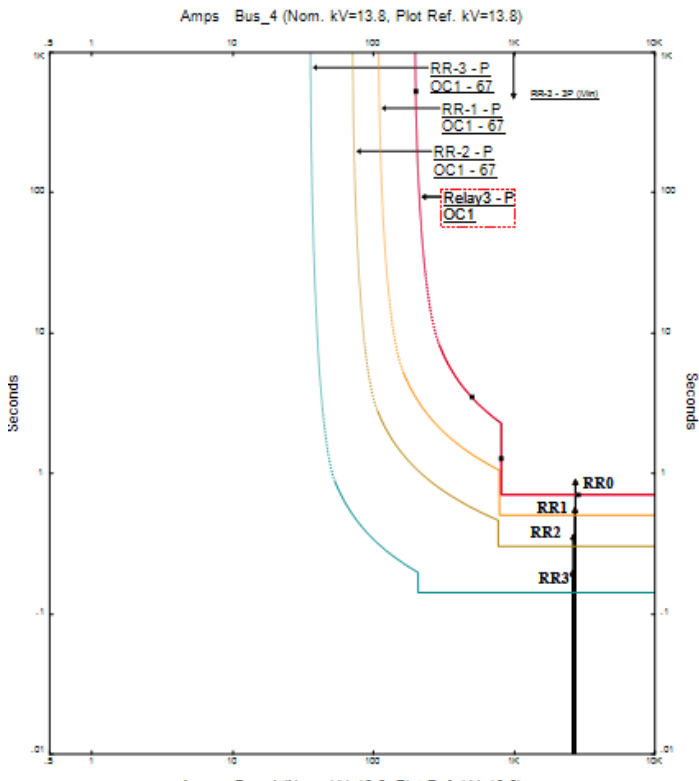
Gambar 4.2 Time Current Curve Case 1 Perhitungan GA

4.6.2 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan DG
Perhitungan Manual



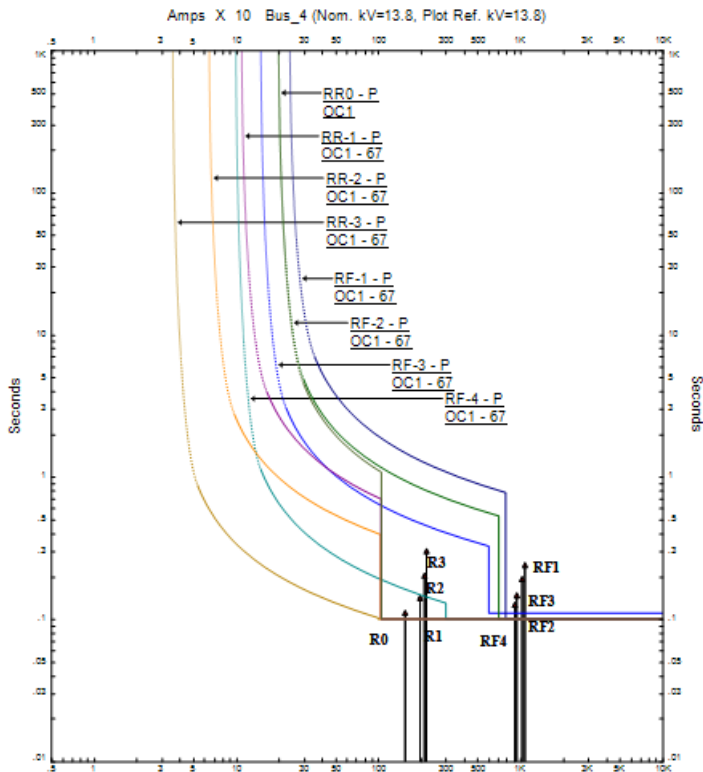
Gambar 4.3 Time Current Curve Case 2 Perhitungan Manual

4.6.3 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan DG Perhitungan GA



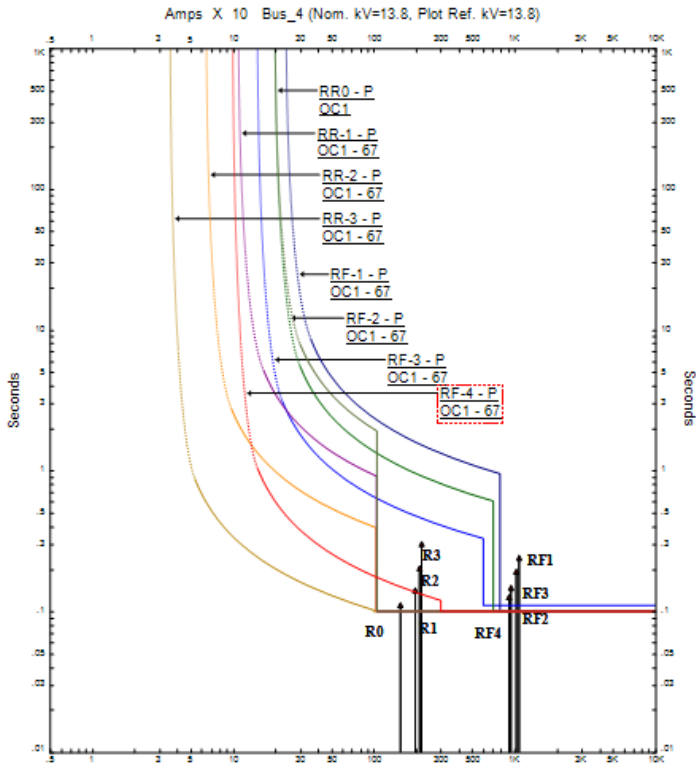
Gambar 4.4 Time Current Curve Case 2 Perhitungan GA

4.6.4 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan DG dan Grid Perhitungan Manual



Gambar 4.5 Time Current Curve Case 3 Perhitungan Manual

4.6.5 Time Current Curve Pada Saat Terhubung Dengan DG dan Grid Perhitungan GA



Gambar 4.6 Time Current Curve Case 3 Perhitungan GA

4.7 Time Tripping dan Time Grading

Tabel 4.13 Time Tripping dan Time Grading Case 1

ID	If (kA)	Time Delay			Time Tripping		
		GA	MA	TDG	GA	MA	TDM
RF4	7.828	100	100	0.06	160	160	0.065
RF3	8.197	300	300	0.18	360	360	0.178
RF2	9.593	500	500	0.32	560	560	0.28
RF1	10.056	700	700	0.49	760	760	0.4

Tabel 4.14 Time Tripping dan Time Grading Case 2

ID	If (kA)	Time Delay			Time Tripping		
		GA	MA	TDG	GA	MA	TDM
RR3	1.029	100	100	0.05	160	160	0.058
RR2	1.036	300	300	0.16	360	360	0.16
RR1	1.05	500	500	0.3	560	560	0.23
RR0	1.054	700	700	0.4	760	760	0.26

Tabel 4.15 Time Tripping dan Time Grading Case 3

ID	If F (kA)	If R (kA)	Time Delay			Time Tripping		
			GA	MA	TDG	GA	MA	TDM
RF4	6.825		100	100	0.06	160	160	0.065
RR0		1.054	100	100	0.05	160	160	0.058
RF3	7.051		100	100	0.18	160	160	0.178
RR1		1.05	100	100	0.16	160	160	0.16
RF2	7.884		100	100	0.32	160	160	0.28
RR2		1.036	100	100	0.3	160	160	0.23
RF1	8.367		100	100	0.49	160	160	0.4
RR3		1.029	100	100	0.4	160	160	0.26

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi proteksi dengan *distributed generator* menggunakan algoritma genetika dapat diambil beberapa kesimpulan dinataranya :

- a. Dengan adanya *distributed generator* arus hubung singkat di semua bus mengalami kenaikan, sehingga terjadi perubahan *setting* koordinasi rele.
- b. *Distributed generator* menyebabkan adanya dual arus yang mengalir sehingga diperlukan CT dan rele tambahan untuk mendeteksi arus dari sisi yang berlawanan.
- c. Hasil perhitungan manual dan perhitungan menggunakan algoritma genetika terdapat perbedaan pada *setting lowset* terutama di TMS, namun perbedaan tersebut tidak mempengaruhi koordinasi rele.
- d. Pada zona 1-2, 2-3 dan 3-4 terdapat dua rele untuk mendeteksi arus *forward* yang berasal dari grid dan arus *reverse* yang berasal dari *Distributed generator*.
- e. Tanpa adanya rele *reverse* apabila terjadi gangguan di bus waktu *tripping* akan menjadi lama.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan penulis, penulis memberikan beberapa saran untuk kesempurnaan penelitian diantaranya:

- a. Diperlukan pembuatan grapik *user interface* (GUI) pada matlab untuk mempermudah memasukkan input data seperti Isc max, Isc man, rasio CT dan *Full Load Ampere*.
- b. Diperlukan algoritma pembandingan untuk mengetahui algoritma yang efisien dalam koordinasi proteksi.
- c. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan plan yang *real* di lapangan atau *plan* dari perusahaan.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noghabi S.Abbas, Sadeh J, Mashhasi R.Habib, “*Considering Different Netowrk Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA*” IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 24 , No.4, Oct 2009.
- [2] Felipe A.Contreras, Gustavo A.Ramos, Mario A.Rios, “*Methodology and Design of an Adaptif Overcurrent Protection for Distribution Systems with DG*” IJECS-IJENS, vol.12 No.05, Oct.2012
- [3] Chen Chao R, Lee Cheng H, Chang Chi J, “*Optimal Overcurrent Relay Coordination in Power Distribution System Using a New Approach*” Electr Power Energy Syst, vol 45 ,2013
- [4] Haupt.L , Haupt.E “*Practical Genetic Algorithm*”, John Wiley, USA, Ch 3, 2004
- [5] Anderson, P.M, “Power System Protection”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
- [6] IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protectionand Cordination of Industrial and Commercial Power q System*”The institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001.
- [7] Chen, C.R Lee, C.H., 2014. “*Adaptive Overcurrent relay coordination for off-peak loading in interconnected power system*”. Electr. Power energy Syst.63,140-144
- [8] Coffelle, F, Booth, C, Dysko A. 2005. “*An Adaptive overcurrent protection scheme for distribution networks* ”. IEEE.Trans.Power Deliv.30(2),561-568
- [9] Doyle, M. T. 2002. “*Reviewing the impact of distributed generation on distribution system protection* “. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet. 1,103-105
- [10] H.Wan, K. Li, and K.Wong, “*An adaptive multiagent approach to protection relay coordination with distributed generators in industrial power distribution system,*” Industry Applications, IEEE Transactions on, vol. 46, pp. 2118 –2124, sept.-oct. 2010.

-----*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*-----

LAMPIRAN

```

clf
clc
clear
close all
miscoord = []; dt_run = []; fitrecrun = [];
f1bestrecrun = [];
f2bestrecrun = []; f3bestrecrun = []; TMbestrec
= []; mr_bestever = inf;
main_t_best = []; main_p = []; backup_t_best =
[]; main_f = []; backup_f = [];
dt_best = []; pen_dt_best = []; good_dt = 0;
good_ub = 0; good_lb = 0;
good_dt_lb_ub = 0; main_t1_beclest= [];
margin_main=[]; pen_ub_best = [];pen_lb_best =
[];

%|||||||DATA-DATA INPUT|||||||
%=====
disp('KONDISI KONFIGURASI =1 ->KONDISI SUMBER
PLN');
disp('KONDISI KONFIGURASI =2 ->KONDISI SUMBER
DG');
disp('KONDISI KONFIGURASI =3 ->KONDISI SUMBER DG
DAN PLN');
disp('KONDISI KONFIGURASI =4 ->KONDISI TERHUBUNG
GRID & DG 2-ON');
disp('KONDISI KONFIGURASI =5 ->KONDISI TERHUBUNG
GRID & DG 1-ON');
n = input('KONDISI KONFIGURASI: ');
switch n
    case 1
        %=====
        %SUMBER GRID SAJA
        %-----
        % Relayurut 1-X          R1      R2      R3      R4      R5
        %-----

```

```

nama_kasus          ='CASE 1 : TERHUBUNG SUMBER
PLN';
%                  [RF1 RF2 RF3 RF4 ]
Ifault_main         = [9550 9050 8150 7890];
%arus hs.max untuk relay utama
Ifault_min          = [8370 7880 7050 6820];
%arus hs.min untuk relay utama
relay_main_backup   = [1 2; 2 3; 3 4; ]';
%pasangan relay utama dan backup
Ifault_backup        = [9550 9050 8150 7890];
%arus hs.max relay backup
IFL                  = [197.5 155.8 133.9 89.3];
%Arus Beban Penuh
CT_RATIO             = [200 200 150 100];
%Ratio CT
    case 2
%=====
%ISLAND
%-----
% Relayurut 1-X      [ R1      R2      R3      R4
R5]
%-----
nama_kasus           ='CASE 2 : SUMBER DG';
%                  [RR1 RR2 RR3 RR4]
Ifault_main          = [2750 2730 2660 2620 ];
%arus hs.max untuk relay utama
Ifault_min           = [1050 1050 1040 1030 ];
%arus hs.min untuk relay utama
relay_main_backup     = [1 2; 2 3; 3 4;]';
%pasangan relay utama dan backup
Ifault_backup         = [2750 2730 2660 2620];
%arus hs.max relay backup
IFL                   = [197.4 108.3 63.8 41.9];
%Arus Beban Penuh
CT_RATIO              = [200 110 200 65 ];
%Ratio CT
%=====

```

```

case 3
%=====
%DG SEMUA NYALA+GRID
%-----
% Relayurut 1-X      [ R1      R2      R3      R4      R5]
%-----
nama_kasus           ='CASE 3 : RF SUMBER
TERHUBUNG GRID & DG  ON';
%                    [RF1 RF2 RF3 RF4 ]
Ifault_main          = [10780 10300 9440 9190];
% arus hs.max untuk relay utama
Ifault_min           = [9400 8910 8080
7850]; % arus hs.min untuk relay utama
relay_main_backup    = [1 2; 2 3; 3 4;]';
% pasangan relay utama dan backup
Ifault_backup        = [10780 10300 9440 9190];
% arus hs.max relay backup
IFL                  = [188.6 146.8 125.8 89.3];
% Arus Beban Penuh
CT_RATIO             = [200 200 150 100];
% Ratio CT
end
%=====
%=====
%=====BATAS DATA-DATA INPUT=====
%=====
%=====
%=====
[rowct,colct]=size(Ifault_main);%+
%+++++Perhitungan HIGHSET+++++
[rowct,colct]=size(Ifault_main);
% definisikan kolom
for d=1:colct                                %ambil
    jumlah_kolom Ifault_main
    Iset(d) = 0.8*Ifault_min(1,d);            %rumus
highset
    Iset    = ones(size(CT_RATIO,1),1)*Iset;    %CT
ratio
end

```

```

Taphi=Iset./CT_RATIO;
%Variabel untuk Arus pickup highset
Isetnew=Iset;
%=====
=====
%=====
=====
%=====
=====
mr_max = 1;
for mr = 1:mr_max
    npar      = size(Ifault_main,2);
    varhi     = 1.2;
    varlo     = 0.05;
    varhi_Iset = 1.2;
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
    varlo_Iset = 1.05;
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan

%=====
=====
%MULAI PEMROSESAN GA

%=====
=====
%1.PARAMETER GA

    maxit      = 50;                                % Jumlah
Iterasi
    mincost    = 2;                                  % Cost
Minimal
    popsize    = 100;                                %
Ukuran Populasi
    mutrate    = 0.01;                                % Rating
Mutasi
    selection   = 0.5;                                %
Populasi Yang Terseleksi
    Nt          = npar;                                %
Nt=Variabel

```

```

    keep = floor(selection*popsiz);           %
Anggota Populasi yg Survive
    nmut = ceil((popsiz-1)*Nt*mutrate);      % Total
Jumlah Mutasi
    M = ceil((popsiz-keep)/2);               % Jumlah
Perkawinan

```

```

%=====
=====
%2.INISIALISASI POPULASI
%=====
=====

```

```

    iga = 0;
% Oounter
    par = (varhi-varlo)*rand(popsiz,npar)+varlo;
% Random Inisialiasi Tdial
    par_Iset = (varhi_Iset-
varlo_Iset)*rand(popsiz,npar)+varlo_Iset;
    %@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan Random
Inisialisasi Ipickup
    Ipu = (par_Iset.*ones(popsiz,size(IFL,2)));
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
    ones(1,size(IFL,2))
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
    for x=1:popsiz
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
        for y=1:size(IFL,2)
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
            Ipu(x,y)=IFL(1,y)*Ipu(x,y);
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
        end
%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
    end
end

```

```

%
%-----
%2a.Buat variabel "par" diskrit

```

```

[row_par,col_par] = size(par);
for i = 1:row_par
    for j = 1: col_par
        if mod(par(i,j),0.01) < 1e-10
            par(i,j) = par(i,j);
        else
            par(i,j) = (ceil(par(i,j)/0.01))* 0.01;
        end
    end
end
par
par_Iset

%=====
%=====
%3.EVALUASI 1 HASIL POPULASI AWAL

%=====
%=====

Evaluasi_Individu='Evaluasi_Individu';
[cost,f1,f2,f3,g1,g2,g3] =
feval(Evaluasi_Individu,par,Ipu,Ifault_main,rela
y_main_backup,Ifault_backup,IFL,varhi_Iset,varlo
_Iset);
%%@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@tambahan
[cost,ind] = sort(cost);
% cost diurutkan dari kecil ke besar
cost
par = par(ind,:);
% sorting berdasarkan cost diatas
par
par_Iset = par_Iset(ind,:);
% sorting berdasarkan cost diatas
par_Iset
minc(1) = min(cost);
% minc contains min of population cost
minc(1)

```



```

    meanc(1) = mean(cost);
% meanc contains mean of population cost
    meanc
    fitrec = [];

%=====
=====

%                                     4.MULAI ITERASI
PENENTUAN MA & PA

%=====
=====

while iga<maxit
    iga = iga+1;
% untuk iterasi bro
    prob = flipud([1:keep]'/sum([1:keep]));
% weight pada tiap kromosom, terusun keep baris
jika dijumlah adalah 1
    prob
    odds = [0 cumsum(prob(1:keep))'];
% probability distribution function dari 0
sampai kumulatif dari prob
    odds

    pick1 = rand(1,M);
% mate #1 random dengan kolom 1-M
    pick1
    pick2 = rand(1,M);
% mate #2 random dengan kolom 1-M
    pick2

    % ma and pa contain the indicies of the
chromosomes that will mate
    ic = 1;
    while ic<= M
        for id = 2:keep+1
            if pick1(ic)<=odds(id) & pick1(ic)>odds(id-1)
                ma(ic) =id-1;

```

```

        end
        if pick2(ic)<=odds(id) & pick2(ic)>odds(id-1)
            pa(ic) =id-1;
        end
    end
    ic = ic+1;
end
ma
pa

%=====
%5.KAWIN SILANG 'SPK'

%=====
    ix = 1:2:keep;
% index of mate #1
    ix
    xp = ceil(rand(1,M)*Nt);
% crossover point
    xp
    r = rand(1,M);
% mixing parameter
    for ic=1:M
        xy = par(ma(ic),xp(ic))-par(pa(ic),xp(ic));
% ma and pa mate
        xy
        par(keep+ix(ic),:) = par(ma(ic),:);
% 1st offspring
        par(ma(ic),:)
        par(keep+ix(ic)+1,:) = par(pa(ic),:);
% 2nd offspring
        par(pa(ic),:)
        par(keep+ix(ic),xp(ic)) = par(ma(ic),xp(ic))-
r(ic).*xy; % 1st
        par(ma(ic),xp(ic))-r(ic).*xy
        par(keep+ix(ic)+1,xp(ic)) =
par(pa(ic),xp(ic))+r(ic).*xy; % 2nd
        par(pa(ic),xp(ic))+r(ic).*xy

```

```

        yx = par_Iset(ma(ic),xp(ic))-
par_Iset(pa(ic),xp(ic));           % ma and pa
mate
        par_Iset(keep+ix(ic),:) = par_Iset(ma(ic),:);
% 1st offspring
        par_Iset(keep+ix(ic)+1,:) =
par_Iset(pa(ic),:);                 % 2nd
offspring

        par_Iset(keep+ix(ic),xp(ic)) =
par_Iset(ma(ic),xp(ic))-r(ic).*yx;   % 1st
        par_Iset(keep+ix(ic)+1,xp(ic)) =
par_Iset(pa(ic),xp(ic))+r(ic).*yx;   % 2nd

        if xp(ic)<npar % crossover when last variable
not selected
            par(keep+ix(ic),:) =
[par(keep+ix(ic),1:xp(ic))
par(keep+ix(ic)+1,xp(ic)+1:npar)];
            par(keep+ix(ic)+1,:) =
[par(keep+ix(ic)+1,1:xp(ic))
par(keep+ix(ic),xp(ic)+1:npar)];

            par_Iset(keep+ix(ic),:) =
[par_Iset(keep+ix(ic),1:xp(ic))
par_Iset(keep+ix(ic)+1,xp(ic)+1:npar)];
            par_Iset(keep+ix(ic)+1,:) =
[par_Iset(keep+ix(ic)+1,1:xp(ic))
par_Iset(keep+ix(ic),xp(ic)+1:npar)];
        end % if
    end

    % asdsa

%=====
=====

```

6. MUTASI POPULASI

```
%
and associated parameters
[cost,ind] = sort(cost);
par = par(ind,:);

par Iset = par Iset(ind,:);
```

```

% _____
% _____
%                                     6.c Do statistics
for a single nonaveraging run
    minc(iga+1) = min(cost);
    meanc(iga+1) = mean(cost);

% _____

% Stopping criteria
if iga>maxit || cost(1)<mincost
    break
end
[iga cost(1) mr]
fitrec = [fitrec, cost(1)];
plot(fitrec)
drawnow
bestever = cost(1);
cost(1)
% cost(1)
% f1
% cost
% fitrec
if iga>maxit || cost(1)<mincost
    break
end
    end

%////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

%=====
=====
    %Looping untuk menampilkan TMSbest

%=====
=====

```

```

    for xx=1:size(par,2) %Output kolom dari par = 5
        TMSbest(1,xx)=par(1,xx); %mendefinisiakn
TMSbest jadi variabel Par
        par_best(1,xx)=par_Iset(1,xx);
    end
    par2=par_Iset
    TMbest=TMSbest;
%   TDbest=TDSbest;
par_best
IFL
Ipu_new=[];
Ipu_new=IFL.*par_best;
f1
f2
f3
g1
g2
g3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%=====
=====
    %Penalti Untuk Batas TMS (lo dan hi)

%=====
=====
    for i = 1: size(TMbest,2)           %iterasi
dari 1:kolom TMbest

%_batasatas_____
_____
        if TMbest(i)> 1.2;                %jika
nilai TMbest(1) lebih dari 1.2,
            pen_ub_best(i) = TMbest(i)-1.2;
%pen_ub_best=TMbest-1.2
        elseif TMbest(i)<= 1.2;           % jika
kurang dari 1.2 maka
            pen_ub_best(i) = 0;
%pen_ub_best =0

```

```

end

%_batasbawah_____

%      if TMbest(i) <
(0.1*(((Ifault_main(1,i)/Ipu_new(1,i))^0.02)-
1))/0.14;
%      pen_lb_best(i) =
(0.1*(((Ifault_main(1,i)/Ipu_new(1,i))^0.02)-
1))/0.14 - TMbest(i);
%      elseif TMbest(i) >=
(0.1*(((Ifault_main(1,i)/Ipu_new(1,i))^0.02)-
1))/0.14;
%      pen_lb_best(i) = 0;
%      end
      if TMbest(i) < 0.05;
      pen_lb_best(i) = 0.05 - TMbest(i);
      elseif TMbest(i) >=0.05;
      pen_lb_best(i) = 0;
      end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%=====
=====
%OBJ Function Pertama

%=====
=====
Ipu_new = ones(size(TMbest,1),1)*Ipu_new;
Ifault_main = ones(size(xx,1),1)*Ifault_main;
t_main_best =
(0.14.*TMbest)./(((Ifault_main./Ipu_new).^0.02)-
1);
flbest = sum(t_main_best,2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%=====
%=====
%kordinasi relay

%=====
%=====
CTI = 0.2;      %selisih R primer dan backup

main_backup = size (relay_main_backup);
main_backup_pair = main_backup(2);
for i = 1:size(xx,1)
    for j = 1:main_backup_pair
        main_f(i,j) =
Ifault_main(i,relay_main_backup(1,j));
        main_p(i,j) =
Ipu_new(i,relay_main_backup(1,j));
        main_t_best(i,j) =
0.14*TMbest(i,relay_main_backup(1,j))/((main_f(i
,j)/main_p(i,j))^0.02 -1);
        backup_f(i,j) = Ifault_backup(j);
        backup_p(i,j) =
Ipu_new(i,relay_main_backup(2,j));
        backup_t_best(i,j)
=(0.14*(TMbest(i,relay_main_backup(2,j))))/((bac
kup_f(i,j)/backup_p(i,j))^0.02 -1);
        dt_best(i,j) = backup_t_best(i,j) -
main_t_best(i,j)- CTI;
        if dt_best(i,j) < 0
            pen_dt_best(i,j) = main_t_best(i,j)+ CTI
- backup_t_best(i,j);
        elseif dt_best(i,j)>=0
            pen_dt_best(i,j) = 0;
        end
    end
end

dt_gen = dt_best;
dt_run = [dt_run;dt_gen];

```



```

miscoordgen = sum(dt_best< 0.0);
miscoord = [miscoord; miscoordgen];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%=====
%=====
%FITNESS f2best dkk

%=====
%=====

f2best = sum(dt_best,2);
f3best = sum(backup_t_best,2);
g1best = sum(pen_dt_best,2);
g2best = sum(pen_lb_best,2);
g3best = sum(pen_ub_best,2);
if sum(dt_best<0)==0
    good_dt = good_dt + 1;
end
if sum(TMbest < 0.1) == 0
    good_lb = good_lb + 1;
end
if sum(TMbest > 1.2) == 0
    good_ub = good_ub + 1;
end
if sum(TMbest > 1.2000000)==0 &
sum(dt_best<0.001) == 0 & sum(TMbest <0.05)==0
    good_dt_lb_ub = good_dt_lb_ub + 1;
end
fitrecrun = [fitrecrun; fitrec];
fitrecrun
flbestrecrun = [flbestrecrun;flbest]; %A record
of main operating times
flbestrecrun
f2bestrecrun = [f2bestrecrun;f2best]; %A record
of grading margins
f2bestrecrun
f3bestrecrun = [f3bestrecrun;f3best]; %A record
of backup operating times

```

```

f3bestrecrun
TMbestrec = [TMbestrec;TMbest];
if bestever < mr_bestever
    if sum(TMbest > 1.2000000)==0 & sum(dt_best<-
0.001) == 0 & sum(TMbest<0.05)==0
        mr_bestever = bestever;
        bestever
        mr_f1_bestever = f1best;
        f1best
        mr_f2_bestever = f2best;
        mr_f3_bestever = f3best;
        mr_TMbestever = TMbest;
        fitrecbest = fitrec;
    end
end
end
fitrecrun_fin = fitrecrun(:,maxit);
[fitrecrun_sort,ind_fitrecbest] =
sort(fitrecrun_fin);
fitrecbest = fitrecrun(ind_fitrecbest(1),:);
fitrecrunave = mean(fitrecrun);
fitrecrunstd = std(fitrecrun(:,maxit),1,1);
f1bestrecrunave = mean(f1bestrecrun,1);
f1bestrecrunstd = std(f1bestrecrun,1,1);
f2bestrecrunave = mean(f2bestrecrun,1);
f2bestrecrunstd = std(f2bestrecrun,1,1);
f3bestrecrunave = mean(f3bestrecrun,1);
f3bestrecrunstd = std(f3bestrecrun,1,1);
successrate = (good_dt_lb_ub/mr)*100;
cti=backup_t_best-main_t_best;

plot(fitrecrunave)
title('Average fitness')
figure

plot(fitrecbest)
title('Fitness')

```

```

t_main_best =
(0.14.*TMbest)./(((Ifault_main./Ipu_new).^0.02)-
1);

cti=backup_t_best-main_t_best;
Tap=Ipu_new./CT_RATIO;
day=clock;
disp(datestr(datenum(day(1),day(2),day(3),day(4)
,day(5),day(6)),0))
%=====
=====
%=====Plot Kurva
Karakteristik=====
disp('=====
=====');
fprintf('%5.3g',nama_kasus);
disp('=====
=====');
disp('=====
=====');
disp('                                LOWSET CURRENT
SETTING (I>)                        ');
disp('=====
=====');
disp('          | Relay No. |      Ipu      |      Tap
|' );
disp('-----
-----');
for m = 1:size(par,2)
    fprintf('    %14.3g', m);
    fprintf('    %14.2f', Ipu_new(m));
    fprintf('    %8.2f', Tap(m));
    fprintf('\n');
end
fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('=====
=====');

```

```

disp('                                HIGH CURRENT
SETTING (I>>)                        ');
disp('=====
=====');
disp('          | Relay No. |   Ipu   |   Tap
|' );
disp('-----
-----');
for m = 1:size(par,2)
    fprintf(' %14.3g', m);
    fprintf(' %14.2f', Iset(m));
    fprintf(' %8.2f', Taphi(m));
    fprintf('\n');
end
fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('=====
=====');
disp('                                TIME DIAL
');
disp('=====
=====');
disp('          | Relay No. |   TMS   |   WAKTU
OPERASI   |' );
disp('-----
-----');
for m = 1:size(par,2)
    fprintf(' %13.3g', m);
    fprintf(' %13.4f', TMbest(m));
    fprintf(' %10.4f', t_main_best(m));
    fprintf('\n');
end
fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('=====
=====');
disp('                                MARGIN TIME RELAY
UTAMA-BACKUP                        ');
disp('=====
=====');

```

```

disp('          | No. |          RELAY          |
MARGIN TIME | PRIMER | BACKUP | ');
disp('          |          | Primer | BACKUP |
| ');
disp('-----
-----');

for n=1: size(relay_main_backup,2)
    fprintf(' %13.g', n);
    fprintf(' %5.f', relay_main_backup(1,n));
    fprintf(' %7.f', relay_main_backup(2,n));
    fprintf(' %14.2f', cti(n));
    fprintf(' %8.2f', main_t_best(n));
    fprintf(' %10.2f', backup_t_best(n));
    fprintf('\n');
end
disp('-----
-----');

```

-----*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*-----

RIWAYAT HIDUP



Nama saya adalah Mukhamad Subkhi, lahir di Pati. Pati merupakan kota kecil di Jawa Tengah yang mempunyai slogan “ the pensioners of java”. Saya merupakan anak terakhir dari enam bersaudara, yang mempunyai background di system control , untuk saat ini saya melanjutkan sekolah di kampus yang sama yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan electrical engineering bidang studi teknik system tenaga. Motto hidup “ Jangan pernah berharap kepada orang lain”. Penulis bisa dihubungi di email : mukhamadsubkhi@gmail.com